



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E
CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS**

**REDES DE INTERAÇÕES DE FRUGIVORIA POR AVES EM PLANTAS
NATIVAS E EXÓTICAS EM AMBIENTE URBANO**

Diego Silva Freitas Oliveira

2014

Diego Silva Freitas Oliveira

**REDES DE INTERAÇÕES DE FRUGIVORIA POR AVES EM PLANTAS
NATIVAS E EXÓTICAS EM AMBIENTE URBANO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para a obtenção do título de doutor em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Marçal Júnior

**Uberlândia
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

O48r Oliveira, Diego Silva Freitas, 1984-
2014 Redes de interações de frugivoria por aves em plantas nativas e
 exóticas em ambiente urbano / Diego Silva Freitas Oliveira. - 2014.
 53 f. : il.

Orientador: Oswaldo Marçal Júnior.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.
Inclui bibliografia.

1. Ecologia - Teses. 2. Ecologia urbana (Biologia) - Teses. 3. Ave -
Ecologia - Teses. 4. Ave - Nutrição - Teses. I. Marçal Júnior, Oswaldo.
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. III. Título.

CDU: 619

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Divino e Joana, pelo apoio e amor incondicionais.

Aos meus irmãos pelo companheirismo constante.

Ao meu orientador Prof. Dr. Oswaldo Marçal Júnior pela confiança depositada em mim nos últimos anos.

A todos os amigos que estiveram comigo nos últimos quatro anos e, contribuindo (ou não) para a realização deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Ornitologia e Bioacústica pelo auxílio em momentos importantes da execução do trabalho.

Ao Prof. Dr. Alexandre Gabriel Franchin por todo o auxílio e lições de Ornitologia desde a época da graduação.

Ao Programa de Pós-graduação em ecologia e conservação de Recursos Naturais da UFU pela estrutura oferecida e pelo auxílio na participação em eventos. A todos os professores que contribuíram para minha formação. À secretaria Maria angélica pelo atendimento sempre eficiente. À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

Aos membros da banca examinadora por terem aceitado contribuir para a melhoria do trabalho e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta tese.

Dedico a meus pais, por tudo.

RESUMO

O consumo de frutos por aves no Brasil é bem documentado, mas ainda existe uma escassez de trabalhos comparando o consumo de frutos nativos e exóticos, especialmente em ambiente urbano. A Teoria de Redes pode ser uma ferramenta útil neste tipo de estudo, pois permite avaliar simultaneamente várias espécies de aves e de plantas envolvidas nas interações. Os objetivos desta tese foram avaliar redes de interação planta-ave consumidora de frutos em ambiente urbano em escalas regional e local; verificar o papel das espécies vegetais nativas e exóticas nas redes e comparar as assembleias de aves consumidoras destes dois grupos de plantas. Foi conduzida uma revisão da literatura sobre frugivoria por aves em áreas urbanas do Brasil e a partir desses dados uma meta-análise foi realizada para criar uma rede de interações em escala regional. Também foram realizadas observações em áreas verdes urbanas de Uberlândia, em quatro espécies vegetais nativas (*Matayba guianensis*, *Xylopia aromaticata*, *Cecropia pachystachya* e *Phoradendron affine*) e quatro exóticas (*Michelia champaca*, *Muntingia calabura*, *Roystonea borinquena* e *Ligustrum lucidum*). As observações foram realizadas entre maio de 2012 e março de 2014 no período da manhã e no fim da tarde, totalizando 320 horas de observação. Foram incluídos 15 trabalhos na meta-análise com 70 espécies de aves consumindo frutos de 15 espécies de plantas (seis exóticas e nove nativas), sendo *Tangara sayaca* a espécie registrada no maior número de trabalhos (n=14) e Tyrannidae a família mais representativa (n=18 spp.). As avifaunas consumidoras de frutos exóticos e nativos não formaram grupos distintos e a rede de interações em escala regional foi significativamente aninhada ($NODF=0,30$; $p < 0,01$) e não modular ($M= 0,36$; $p= 0,16$). Duas plantas exóticas fazem parte do núcleo de generalistas (região com maior densidade de interações) da rede de frugivoria em ambiente urbano no Brasil (*Ficus Microcarpa* e *M. champaca*). Em Uberlândia foram registradas 540 visitas com consumo de frutos, realizadas por 31 espécies de aves distribuídas em quatro ordens e 12 famílias, sendo Tyrannidae a família mais representativa (n=9 spp.). *Pitangus sulphuratus* foi a espécie de ave que interagiu com a maior variedade de plantas (n= 7 spp., 4 exóticas e 3 nativas). As espécies vegetais com maior número de interações foram *Xylopia aromaticata* (nativa) e *Michelia champaca* (exótica), consumidas por 13 espécies de aves. 339 visitas foram feitas a espécies vegetais exóticas e 201 a plantas nativas e foram consumidos 2055 frutos, sendo 1450 nativos e 655 exóticos. Houve diferença significativa na comparação do número de visitas a plantas nativas e exóticas ($U=1018,5$; $p<0,05$), mas não na comparação do número de frutos consumidos ($U=1301,50$; $p=0,7$). A rede local de interações não foi significativamente aninhada ($NODF=40,11$; $p=0,20$) nem modular ($M=0,34$; $p=0,35$). Há tanto espécies nativas quanto exóticas nas posições mais centrais da rede local e somente duas espécies de planta integram o núcleo de generalistas, *X. aromaticata* (nativa) e *M. champaca* (exótica). As assembleias de consumidores de frutos nativos e exóticos não constituíram grupos diferentes. Os resultados indicam que um grupo relativamente diversificado de aves consome frutos em ambiente urbano no Brasil e esse consumo se dá de maneira oportunista, não havendo preferência por nativos ou exóticos, tanto em escala regional quanto em nível local.

Palavras-chave: ecologia urbana, frugivoria, rede de interações

ABSTRACT

Fruit consumption by birds is well reported in Brazil, but few studies compared the use of native and exotic fruit, especially in urban environment. Network Theory may be a useful tool in such studies, since it allows to evaluate multiple species of both animal and plants involved in interactions. The goals of this thesis were to evaluate bird-plant interaction networks in urban environment on regional and local scale; to assess the role of native and exotic plant species in the networks and to compare the consumers assembly interacting with native and exotic plants. We reviewed published literature on bird frugivory in urban areas of Brazil and made a meta-analysis to generate an interaction network on a regional scale. We also made observations in urban green areas of Uberlândia, Minas Gerais State in four native plant species (*Matayba guianensis*, *Xylopia aromatica*, *Cecropia pachystachya* e *Phoradendron affine*) and four exotic species (*Michelia champaca*, *Muntingia calabura*, *Roystonea borinquena* e *Ligustrum lucidum*). 320 hours of observations were carried out between May 2012 and April 2014 during morning and late afternoon. We included 15 papers in our meta-analysis in which 70 bird species consumed fruits from 15 plant species (six exotic e nine native). The bird species recorded in the greater number of papers was *Tangara sayaca* (n=14) and the most representative family was Tyrannidae (n=18 spp.). Bird fauna consuming native and exotic fruits were not in different groups and the interaction network on a regional scale was significantly nested (NODF=0,30; p < 0,01) but not modular ($M=0,36$; p= 0,16). Two exotic plant species are part of the generalist core (region with higher interaction density) of the frugivory network in urban environment in Brazil (*Ficus Microcarpa* e *M. champaca*). At Uberlândia we recorded 540 visits with fruit consumption, performed by 31 bird species from four orders and 12 families. The most representative family was Tyrannidae (n=9 spp.) and *Pitangus sulphuratus* was the bird species interacting with higher plant diversity (n= 7 spp., 4 exotic e 3 native). Plant species with higher number of interactions were *Xylopia aromatica* (native) and *Michelia champaca* (exotic), both consumed by 13 bird species. A total of 339 visits were recorded on exotic plant species and 201 on native plants and 2055 fruits were consumed, 1450 native and 655 exotic fruits. Comparing native and exotic plant species there was significant difference in the number of visits ($U=1018,5$; $p<0,05$), but not in the number of fruits consumed ($U=1301,50$; $p=0,7$). Interaction network on a local scale was not significantly nested (NODF=40,11; p=0,20) nor modular ($M=0,34$; p=0,35). There are both native and exotic plant species on central positions of the local network and only two species comprise the generalist core, *X. aromatica* (native) e *M. champaca* (exotic). Bird assembly consuming native and exotic fruits did not form different groups. Results suggest that a relatively diverse set of birds consume fruits in urban environment in Brazil and this consumption occurs in an opportunistic way, with no preference for native or exotic plants, both on regional and local scale.

Palavras-chave: urban ecology, frugivory, interaction network

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS.....	5
CAPÍTULO 1.....	9
Rede de interações ave-planta: um estudo sobre frugivoria em áreas urbanas do Brasil.....	9
INTRODUÇÃO.....	10
MATERIAL E MÉTODOS.....	11
Coleta de dados.....	11
Análise de dados.....	12
Análise de redes.....	12
RESULTADOS.....	13
DISCUSSÃO	21
REFERÊNCIAS.....	25
CAPÍTULO 2.....	28
Rede de interações de frugivoria por aves na área urbana de Uberlândia, MG.....	31
INTRODUÇÃO.....	32
MATERIAL E MÉTODOS.....	34
Área de Estudo.....	34
Procedimentos.....	34
Análise da estrutura da rede	35
Comparação da avifauna consumidora de frutos nativos e exóticos.....	36
RESULTADOS.....	37
DISCUSSÃO	43
REFERÊNCIAS.....	47
CONCLUSÕES.....	53

INTRODUÇÃO GERAL

Uma das principais alterações dos ecossistemas naturais promovidas pelo homem é a urbanização (Barnosky *et al.* 2012). As taxas de urbanização vêm crescendo em escala global (United Nations Population Division 2006; Grimm *et al.* 2008) e entre seus impactos negativos estão a homogeneização da cobertura vegetal (Mckinney 2006), mudanças na composição das comunidades locais com a substituição de plantas nativas (Moffatt *et al.* 2004) e efeitos em cascata na fauna associada (Callaway and Maron 2006; Kagata & Ohgushi 2006). Estes efeitos sobre os animais tendem a ser intensos e duradouros, pois a matriz urbana é muito diferente da cobertura nativa e uma vez que uma área é urbanizada ela dificilmente retornará a uma condição próxima da natural (Marzluff & Ewing 2001).

Aves estão entre os grupos animais mais afetados pelo processo de urbanização e tendem a apresentar um aumento na biomassa acompanhado de uma redução na sua riqueza (Chace & Walsh 2006). Frequentemente, as comunidades de aves em áreas urbanas são dominadas por poucas espécies muito abundantes (Chace & Walsh 2006; Heezik *et al.* 2008) e a composição destas comunidades costuma estar associada a diferenças na composição e na estrutura da vegetação, com uma tendência de maior diversidade de aves em locais com maior volume de vegetação nativa (Daniels & Kirkpatrick 2006; Khera *et al.* 2009). Além disso, uma das consequências desse processo é que espécies de plantas e animais que não ocorrem naturalmente na mesma área passam a se envolver em novas interações ecológicas (Reichard *et al.* 2001; Chace & Walsh 2006).

Nos últimos anos tem crescido o número de estudos abordando as chamadas redes ou teias de interações ecológicas, que são redes formadas pela conexão de diferentes espécies de uma comunidade por meio de interações ecológicas (Melián & Bascompte 2002; Bascompte *et al.* 2003; Melián e Bascompte 2004; Morales & Vasquez 2008). Esta abordagem vem sendo utilizada tanto para descrever interações entre consumidores e recursos, como por exemplo, em teias alimentares (Melián & Bascompte 2002; Melián & Bascompte 2004) quanto para interações mutualísticas como aquelas entre plantas e seus polinizadores e frugívoros dispersores (Bascompte *et al.* 2003; Jordano *et al.* 2003; Morales & Vasquez 2008).

Associações entre plantas e aves frugívoras são exemplos de mutualismos que formam uma teia de interações, já que os frutos de uma espécie de planta podem ser consumidos e suas sementes dispersas por um grande número de espécies de aves, ao mesmo tempo em que uma única espécie de ave pode consumir frutos e dispersar sementes de dezenas de espécies

de plantas (Jordano *et al.* 2003). Os padrões de interação observados em teias de interações mutualísticas são importantes para a compreensão da biodiversidade, uma vez que descrevem a interdependência entre as espécies (Montoya *et al.* 2006; Thompson 2006, Bascompte *et al.* 2006).

Redes mutualísticas planta-animal podem ser descritas por grafos bipartidos com dois conjuntos distintos de pontos, chamados vértices, representando as plantas e animais de uma localidade, e linhas representando as interações entre estes (Jordano *et al.* 2003). Estudos têm revelado que as redes que descrevem associações mutualísticas entre plantas e animais apresentam um tipo de assimetria na especialização chamado aninhamento (Bascompte *et al.* 2003). Uma rede de interações aninhada é caracterizada por: 1) espécies generalistas interagindo entre si, formando um núcleo de espécies responsáveis pela maior parte das interações; 2) espécies especialistas, isto é, espécies com poucas interações normalmente interagem somente com generalistas e 3) ausência quase completa de interações de um especialista com outro especialista.

A estrutura aninhada das redes de interações tem implicações na coevolução, na dinâmica da comunidade e em conservação e manejo, como por exemplo, na questão de invasões biológicas (Bascompte & Jordano 2006). Esses autores ressaltam a importância de se verificar se comunidades nativas são mais aninhadas do que comunidades com muitas espécies exóticas e se a presença de espécies exóticas pode alterar o nível de aninhamento, o que modificaria a estabilidade da comunidade. Aizen *et al.* (2008) compararam teias de interações planta-polinizador com diferentes níveis de invasão e verificaram que as plantas invasoras, por serem super-generalistas aumentaram o grau de aninhamento das redes de interação. Entretanto, em estudo similar Vilà *et al.* (2009) não verificaram mudanças na estrutura de teias planta-polinizador com a presença de uma planta invasora, embora tenham verificado que as invasoras foram visitadas por mais espécies de polinizadores do que as nativas.

Além da estrutura aninhada, uma outra característica que parece comum às redes mutualísticas é a modularidade, isto é, as redes são compostas por módulos que são subgrupos de animais e plantas estreitamente conectados, que se ligam a outros grupos por meio de espécies que interagem além de seus módulos (Mello *et al.* 2011a). Este conceito está relacionado ao conceito de guildas e grupos funcionais (Blondel 2003) e os subgrupos formados dentro das redes de interações costumam incluir espécies próximas filogeneticamente (Jordano 1987). Isto foi verificado para redes mistas de dispersão envolvendo aves e morcegos, onde se verificou alta modularidade, com os dois grupos de

animais ocupando módulos distintos e muitas plantas interagindo somente com um deles (Mello *et al.* 2011a).

A teoria de redes também permite avaliar quais espécies são mais importantes para a manutenção da rede por meio do conceito de centralidade que está relacionado ao número e distribuição das interações realizadas por cada espécie (Costa *et al.* 2007). Diferentes métricas de centralidade têm sido usadas em estudos sobre redes de dispersão de sementes (Mello *et al.* 2001b) e polinização (Mello *et al.* 2013). Uma destas métricas é a centralidade por intermédio (*betweenness centrality*) que mede a importância de cada vértice considerando o caminho entre pares de espécies, que é o número de conexões necessárias para ligá-las. Uma espécie tem uma posição central na rede quando está presente em uma alta proporção de caminhos mais curtos, que são chamados geodésicas (Nooy *et al.* 2005).

Em ambientes alterados existe um predomínio de aves generalistas, provavelmente pelo fato de nestes ambientes a disponibilidade de recursos como frutos ser muito variável, não permitindo a permanência de espécies com dietas muito especializadas (Motta-Júnior 1990, Villanueva & Silva 1996, Franchin 2009). Aves generalistas frequentemente consomem frutos de espécies vegetais exóticas (Lombardi e Motta-Júnior 1993, Marcondes-Machado *et al.* 1994, Scheibler & Melo-Júnior 2003) que por sua vez podem competir por dispersores com as espécies nativas (Christianini 2006).

No Brasil, as interações entre aves e plantas frutíferas vêm sendo objeto de vários estudos (Motta-Junior & Lombardi 1990, Pizo 1997, Manhães *et al.* 2003, Melo *et al.* 2003) alguns deles avaliando o consumo de frutos de espécies exóticas (Lombardi e Motta-Júnior 1993, Marcondes-Machado *et al.* 1994, Scheibler & Melo-Júnior 2001). Entretanto estes estudos têm enfocado em uma ou duas espécies de planta, sejam elas nativas ou exóticas, e seus respectivos consumidores de frutos/dispersores de sementes. Poucos estudos têm avaliado o consumo de frutos nativos e exóticos em um mesmo ambiente (Gasperin & Pizo 2009), verificando, por exemplo, se há preferência por frutos nativos, se plantas nativas atraem mais espécies de aves e se os frutos nativos e exóticos são consumidos pelas mesmas espécies de aves. Além disso, salvo raras exceções (e.g. Scherer *et al.* 2007), redes de interações ave-planta ainda são pouco exploradas, principalmente em locais alterados onde aves interagem com plantas exóticas frutíferas.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar redes de interação planta-ave consumidora de frutos em ambiente urbano, verificando o papel das plantas nativas e exóticas, comparando as guildas de aves consumidoras destes dois grupos de plantas. A tese está dividida em dois capítulos. O primeiro compila dados da literatura sobre o tema

frugivoria por aves em ambiente urbano no Brasil, construindo uma rede de interações em escala regional. O segundo capítulo apresenta os resultados de observações realizadas em Uberlândia, comparando plantas nativas e exóticas em uma rede local.

REFERÊNCIAS¹

- Aizen, M. A.; Morales, C. L. & Morales, J. M. 2008. Invasive Mutualists Erode Native Pollination Webs. *Plos Biology*, 6 (2):1-8.
- Barnosky, A. D.; Hadly, E. A.; Bascompte, J.; Berlow, E. L.; Brown, J. H.; Fortelius, M.; Getz, W. M.; Harte, J.; Hastings, A.; Marquet, P.A.; Martinez, N.D.; Mooers, A.; Roopnarine, P.; Vermeij, G.; Williams, J.W.; Gillespie, R.; Kitzes, J.; Marshall, C.; Matzke, N.; Mindell, D.P.; Revilla, E. & Smith, A. B. 2012. Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*, 486(7401): 52–58.
- Bascompte *et al.* 2003. The nested assembly of plant–animal mutualistic networks *PNAS* 100 (16): 9383–9387.
- Bascompte, J. & Jordano, P. 2006. The structure of plant-animal mutualistic networks. Em: M. Pascual, e J. Dune (eds). *Ecological networks*. Oxford: Oxford University Press.
- Bascompte, J., P. Jordano & Olesen J. M. 2006. Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance. *Science* 312: 431–433.
- Blondel, J. 2003. Guilds or functional groups: does it matter? *Oikos*, 100(2):223–231.
- Callaway, R. M. & Maron, J. L. 2006. What have exotic plant invasions taught us over the past 20 years? *Trends in Ecology & Evolution*, 21(7): 369–374.
- Chace, J.F. & Walsh, J. J. 2006. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and urban planning*, 74(1): 46-69.
- Christianini, A. V. 2006. Fecundidade, dispersão e predação de sementes de *Archontophoenix cunninghamiana* H. Wendl. e Drude, uma palmeira invasora da Mata Atlântica. *Revista Brasileira Botânica*, 29 (4): 587-594.
- Costa, L. D.; Rodrigues, F. A.; Travieso, G. & Boas, P. R. V. 2007. Characterization of complex networks: A survey of measurements. *Advanced Physics*, 56: 167–242.
- Daniels, G. D. & Kirkpatrick, J. B. 2006. Does variation in garden characteristics influence the conservation of birds in suburbia? *Biological Conservation*, 133(3): 326–335.
- Franchin, A. G. 2009. *Avifauna em áreas urbanas brasileiras, com ênfase em cidades do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba*. Tese de Doutorado. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.
- Gasperin, G. & Pizo, M. A. 2009. Frugivory and habitat use by thrushes (*Turdus* spp.) in a suburban area in south Brazil. *Urban Ecosystems*, 12 (4): 425-436.

¹ Segundo as normas da Revista *Landscape and Urban Planning*

- Grimm, N. B.; Faeth, S. H.; Golubiewski, N. E.; Redman, C. L.; Wu, J.; Bai, X. & Briggs, J. M. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864): 756–760.
- Heezik, Y.; Smyth, A.; & Mathieu, R. 2008. Diversity of native and exotic birds across an urban gradient in a New Zealand city. *Landscape and Urban Planning*, 87(3): 223–232.
- Jordano, P. 1987. Patterns of mutualistic interactions in pollination and seed dispersal. *American Naturalist*, 129(5), 657–677.
- Jordano, P.; Bascompte, J. & Olesen, J. M. 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant–animal interactions. *Ecology Letters*, 6: 69–81.
- Kagata, H. & Ohgushi, T. 2006. Bottom-up trophic cascades and material transfer in terrestrial food webs. *Ecological Research*, 21:26–34.
- Khera, N.; Mehta, V. & Sabata, B. C. 2009. Interrelationship of birds and habitat features in urban greenspaces in Delhi , India. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(3): 1–10.
- Lombardi, J. A. & Motta-Junior, J. C. 1993. Seeds of the champak, *Michelia champaca* L. (Magnoliaceae) as a food source for Brazilian birds. *Ciência e Cultura*, 45 (6): 408-409.
- Manhães, M. A.: Assis, L. C. S. & Castro, R. M. 2003. Frugivoria e dispersão de sementes de *Miconia urophylla* (Melastomataceae) por aves em um fragmento de Mata Atlântica secundária em Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. *Ararajuba* 11 (2): 173-180.
- Marcondes-Machado, L. O.; Paranhos, S. A. & Barros, Y. M. 1994. Estratégias alimentares de aves na utilização de frutos de *Ficus microcarpa*. *Iheringia Série Zoologia* 77: 57-62. Marcondes-Machado *et al.* 1994.
- Marzluff, J. M. & Ewing, K. 2001. Restoration of Fragmented Landscapes for the Conservation of Birds: A General Framework and Specific Recommendations for Urbanizing Landscapes. *Restoration Ecology*, 9(3): 280–292.
- McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127(3): 247–260.
- Melián, C. J. & Bascompte, J. 2002. Complex networks: two ways to be robust? *Ecology Letters*, 5: 705–708 .
- Melián, C. J. & Bascompte, J. 2004. Food web cohesion. *Ecology*, 85 (2): 352-358.
- Mello, M.A.R.; Marquitti, F.M.D.; Guimarães Jr., P.R.; Kalko, E.K.V.; Jordano, P. & Aguiar, M.A.M. 2011a. The modularity of seed dispersal: differences in structure and robustness between bat- and bird–fruit networks. *Oecologia* 167, 131–140.
- Mello, M. A. R.; Marquitti, F. M. D.; Guimarães, P. R.; Kalko, E. K. V., Jordano, P. & de Aguiar, M. A. M. 2011b. The missing part of seed dispersal networks: structure and robustness of bat-fruit interactions. *PloS One*, 6(2): e17395.

- Melo, C.; Bento, E. C. & Oliveira, P. E. 2003. Frugivory and dispersal of *Farema cyanea* (Rubiaceae) in Cerrado woody plant formations. *Brazilian Journal of Biology*, 63 (1):75- 82.
- Moffatt, S. F. ; McLachlan , S . M. & Kenkel, N. C. 2004. Impacts of Land Use on Riparian Forest along an Urban-Rural Gradient in Southern Manitoba. *Plant Ecology*, 174: 119–135.
- Montoya, J. M.; Pimm, S.L. & Solé, R.V. 2006. Ecological networks and their fragility. *Nature* 442: 259-264.
- Morales, J. M. & Vasquez, D. P. 2008. The effect of space in plant-animal mutualistic networks: insights from a simulation study. *Oikos* 117: 1362-1370.
- Motta-Junior, J. C. & Lombardi, J. A. 1990. Aves como dispersores da Copaíba (*Copaifera lansdorffii*, Caesalpiniaceae) em São Carlos, estado de São Paulo. *Ararajuba* 1:105-106.
- Motta-Júnior, J. C. 1990. Estrutura trófica e composição das avifaunas de três ambientes terrestres na região central do estado de São Paulo. *Ararajuba* 1: 65-71.
- Nooy, W.; Mrvar, A.; Batagelj, V. 2005. Exploratory social network analysis with Pajek. New York: Cambridge University Press. 334 p.
- Pizo, M. A. 1997. Seed dispersal and predation in two populations of *Cabralea canjerana* (Meliaceae) in the Atlantic forest of southeastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 13:559-578.
- Reichard, S.; Chalker-Scott, H. L. & Buchanan, S. 2001. Interactions among non-native plants and birds. p. 179–223.In: Marzluff, J. M.; Bowman, R. & Donnelly, R. (eds). Avian ecology and conservation in an Urbanizing World. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Scheibler, D. R. & Melo-Júnior, T.A. 2003. Frugivory by birds on two exotic *Ligustrum* species (Oleaceae). *Ararajuba* 11(1): 89-91.
- Scherer, A.; Maraschin-Silva, F. & Baptista, L. R. M. 2007. Padrões de interações mutualísticas entre espécies arbóreas e aves frugívoras em uma comunidade de Restinga no Parque Estadual de Itapuã, RS, Brasil. *Acta botanica brasiliensis* 21(1): 203-212.
- Thompson, J. N. 2006. Mutualistic Webs of Species. *Science* 312: 372-373.
- United Nations Population Division. 2006. World urbanization prospects: The 2005 revision. New York: United Nations.
- Vilà, M.; Bartomeus, I.; Dietzsch, A. C.; Petanidou, T.; Steffan-Dewenter, I.; Stout, J. C. & Tscheulin, T. 2009. Invasive plant integration into native plant-pollinator networks across Europe. *Proceedings of the Royal Society B.*, 276: 3887–3893.

Villanueva, R. E. V. & Silva, M. 1996. Organizaçāo trófica da avifauna do campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC. *Biotemas* 9(2): 57-69.

CAPÍTULO 1

**Rede de interações ave-planta: um estudo sobre frugivoria em
áreas urbanas do Brasil**

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização altera drasticamente o ambiente natural e seus efeitos sobre os animais nativos são maiores e mais duradouros do que os provocados por outras atividades humanas, como agricultura e extração de madeira (Marzluff & Ewing 2001). Essas perturbações tendem a se intensificar com o passar do tempo, impossibilitando a recuperação da cobertura original (Mckinney 2006). Mudanças na vegetação, como a substituição de plantas nativas por espécies exóticas estão entre os fatores que contribuem para o impacto da urbanização sobre as comunidades de aves criando uma situação em que espécies de animais e plantas que não ocorrem naturalmente na mesma área passam a interagir (Reichard *et al.* 2001; Chace & Walsh 2006).

As interações entre aves e plantas podem se dar de diversas formas e entre elas está a frugivoria, amplamente estudada em função da importância dos frutos como recurso na alimentação de muitas espécies de aves e da contribuição deste grupo animal na dispersão de sementes (Pizo 1997). No mundo todo, mais de 1200 espécies de aves terrestres apresentam hábito frugívoro em algum grau (Kissling *et al.* 2009) e mais da metade das famílias de aves brasileiras classificadas pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO 2011) já foram registradas consumindo frutos e/ou sementes (Pizo & Galetti 2010).

No Brasil, muitos estudos sobre a frugivoria por aves foram realizados em diversas regiões e tipos de ambiente (Francisco & Galetti 2002; Pizo 2004; Faustino e Machado 2006). A maioria destes trabalhos foi desenvolvida em áreas naturais e o consumo de frutos por aves em ambiente urbano é relativamente menos estudado (Krügel & Behr 1999; Guimarães 2003; Scheibler & Mello-Júnior 2003). Entre os estudos realizados em áreas urbanas, poucos avaliam o consumo de frutos de espécies vegetais exóticas por aves (Lombardi & Motta-Júnior 1993; Marcondes-Machado *et al.* 1994; Scheibler & Mello-Júnior 2003). Comparações entre frutos de plantas nativas e exóticas, no que se refere ao seu consumo por aves em áreas urbanas, vêm sendo realizadas nos últimos anos em países como China (Corlett 2006) e Austrália (Daniels & Kirkpatrick 2006), mas permanecem praticamente inexistentes no Brasil. Uma vez que ao longo do processo de urbanização as espécies nativas tendem a ser substituídas por espécies exóticas (McKinney 2006), a compreensão das interações entre aves e plantas não-nativas pode ser um passo importante na avaliação de fatores que possibilitam a permanência de aves nas cidades. Informações sobre novas relações ecológicas resultantes da alteração de ecossistemas provocada pelo homem podem auxiliar na elaboração de estratégias de manejo e conservação mais eficientes (Hobbs *et al.* 2009).

Uma abordagem que vem sendo bastante explorada em estudos de interações ecológicas é a análise de redes complexas. Esta abordagem vem sendo utilizada tanto para descrever interações entre consumidores e recursos, como por exemplo, em teias alimentares (Melián & Bascompte 2002; Melián & Bascompte 2004) quanto para interações mutualísticas como aquelas entre plantas e seus polinizadores e frugívoros dispersores (Bascompte *et al.* 2003; Jordano *et al.* 2003; Morales & Vasquez 2008). Redes mutualísticas planta-animal são descritas por grafos bipartidos com dois conjuntos distintos de pontos representando as plantas e animais de uma localidade, e linhas representando as interações entre estes (Jordano *et al.* 2003). Este método também permite a construção de redes em escalas maiores (Mello *et al.* 2013), isto é, envolvendo mais de uma localidade, através da compilação de dados de diferentes estudos. Mello *et al.* (2013) utilizaram dados de 40 trabalhos para construir redes mutualísticas entre abelhas coletores de óleo e plantas da família Malpighiaceae, criando seis redes em escala de bioma.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivos: 1. avaliar aspectos da frugivoria por aves em áreas urbanas brasileiras; 2. construir a rede de interações entre as espécies analisadas; 3. verificar se a rede apresenta padrão aninhado e/ou modular e 4. determinar o papel de espécies vegetais exóticas e nativas nessas relações.

Material e Métodos

Coleta de dados

Foi realizada uma revisão da literatura sobre frugivoria por aves em ambiente urbano no Brasil utilizando-se as palavras-chave "frugivoria", "aves", "ambiente urbano", "Brasil" e variações destas (ex.: "consumo de frutos", "área urbana") em português e inglês. O levantamento foi feito nas bases de dados Web of Science, Science Direct e Google Acadêmico até abril de 2014. Foram incluídos na análise trabalhos realizados em parques, jardins, *campi* universitários, praças e outros locais que estivessem dentro do perímetro urbano de cidades brasileiras. Por meio dessa meta-análise foi criado um banco de dados que inclui o local de estudo, o bioma (segundo IBGE 2004), a espécie vegetal, origem da espécie vegetal (nativa ou exótica, sendo consideradas exóticas aquelas que não ocorrem naturalmente na região do estudo de acordo com Ministério do Meio Ambiente 2010), o tipo de fruto (carnoso ou seco com arilo), número de indivíduos observados e horas de observação, número de espécies de aves consumidoras.

Análise de dados

A similaridade entre a avifauna consumidora de frutos de cada espécie vegetal foi obtida pelo índice de similaridade de Sorenson (C_s) considerando presença e ausência das espécies de aves (Magurran 2003) na comunidade consumidora de cada espécie de planta. Foi realizada uma análise de agrupamentos com base no índice de similaridade e usando como método UPGMA. As análises de similaridade e agrupamento foram realizadas com o programa FITOPACSHELL (Shepherd 2006).

Para verificar se o número de espécies de aves registrado em cada estudo está relacionado com o número de horas de observação foi feita uma regressão linear simples. Outra regressão foi feita entre o número de indivíduos de planta observados e o número de espécies consumidoras. Estas análises foram realizadas no programa Bioestat 5.0 (Ayres *et al.* 2007).

As espécies foram classificadas de acordo com a sua dieta, seguindo dados da literatura (Willis 1979; Motta-Júnior 1990; Sick 1997) e de acordo com a sensibilidade a perturbação, seguindo a classificação de Parker (1996). A nomenclatura adotada e a sequência taxonômica seguem CBRO (2011). Foram consideradas nas análises somente espécies completamente identificadas, excluindo-se táxons identificados até o nível de gênero.

Análise de redes

A partir das listas de espécies de aves registradas consumindo frutos em cada trabalho foi criada uma matriz de interações planta-frugívoro em áreas urbanas brasileiras. Esse tipo de matriz é construído colocando-se um grupo de organismos nas linhas (ex.:animais) e outro nas colunas (ex.:plantas) e neste trabalho a matriz foi ordenada com as aves nas linhas e plantas nas colunas. Para cada par de espécies animal-planta a respectiva célula é preenchida com 1 caso haja interação, isto é, a ave foi registrada consumindo fruto daquela planta, ou com 0 caso não haja interação. A matriz foi construída com dados binários (0s e 1s) por medida de padronização, visto que nem todos os trabalhos utilizados na análise apresentavam dados quantitativos (ex.: número de visitas ou frutos consumidos). Para representar as interações foi desenhado um grafo bipartido onde vértices (pontos) representam espécies e arestas (linhas) representam interações de consumo de frutos. O grafo foi confeccionado no programa Pajek 3.13 (Batagelj & Mrvar 1998).

Aninhamento é um padrão topológico em que espécies com poucas conexões interagem com um subconjunto dos parceiros das espécies com muitas conexões (Bascompte *et al.* 2003). Parece ser uma característica de mutualismos facultativos (Guimarães *et al.* 2007) e presume-se que aumenta a robustez do sistema (Bastolla *et al.* 2009). Para verificar se a rede

de frugivoria em ambiente urbano em escala regional apresenta uma estrutura aninhada o grau de aninhamento foi calculado por meio do programa Aninhado 3.0 (Guimarães & Guimarães 2006) utilizando-se a métrica NODF (Almeida-Neto *et al.* 2008). A significância de NODF foi estimada por um teste de Monte Carlo com 1000 aleatorizações e usando o modelo nulo C_e no qual a probabilidade de interação entre um animal e uma planta é proporcional ao seu total de interações (Mello *et al.* 2011).

Redes aninhadas apresentam uma região com maior densidade de interações que é chamada de núcleo de generalistas. Para determinar se uma espécie de ave ou planta fazia parte desse núcleo foi utilizado o índice G_c ($G_c = k_i - k_{\text{médio}}/z$) (Dátillo *et al.* 2013) onde G_c é o núcleo de generalistas, k_i é o número de conexões de uma dada planta/ave, $K_{\text{médio}}$ é o número médio de conexões para todas as plantas/aves na rede e z é o desvio padrão referente ao número de conexões de plantas/aves. Espécies com $G_c > 1$ são espécies com maior proporção de interações comparadas com espécies do mesmo nível trófico (aves, por exemplo) e, portanto fazem parte do núcleo de generalistas. Espécies com $G_c < 1$ são espécies com menor proporção de interações dentro de um nível trófico e são portanto consideradas periféricas na rede.

Além da estrutura aninhada, outra característica que parece comum às redes mutualísticas é a modularidade, isto é, as redes são compostas por módulos que são subgrupos de animais e plantas estreitamente conectados, que se ligam a outros grupos por meio de espécies que interagem além de seus módulos (Mello *et al.* 2011). Este conceito está relacionado ao conceito de guildas e grupos funcionais (Blondel 2003). Para verificar se espécies vegetais exóticas e nativas ocupam módulos diferentes na rede de frugivoria em ambiente urbano no Brasil, foi utilizado o conceito de modularidade, calculada pelo índice M do programa Netcarto (Guimerà e Amaral 2005). Esse índice varia de 0 (não há subgrupos) a 1(subgrupos totalmente separados) e sua significância foi estimada no programa Modular (Marquitti *et al.* 2013).

Resultados

Foram incluídos na análise 15 trabalhos realizados em seis estados brasileiros sendo nove com espécies vegetais nativas (totalizando 9 espécies) e seis com espécies exóticas (6 espécies) (Tabela 1). Foi registrado um total de 70 espécies de aves consumindo frutos de 15 espécies vegetais em ambiente urbano no Brasil, distribuídas em cinco ordens e 20 famílias. A espécie com o maior número de registros foi *Tangara sayaca* (n=14), seguida por *Pitangus*

sulphuratus (n=11) (Tabela 2). A riqueza de aves consumidoras de cada espécie de planta variou de dois (*Solanum granuloleprosum*) a 26 (*Michelia champaca*) (Tabela 1). As famílias mais representativas foram Tyrannidae (n=18 espécies; 25,7%) e Thraupidae (n=17; 24,2%). Das 70 espécies registradas 49 consumiram frutos de pelo menos uma planta exótica (Tabela 2).

Tabela 1. Frugivoria por aves em ambiente urbano no Brasil, considerando estudos selecionados na compilação do banco de dados. E=Exótica; N=Nativa; S/A=Seco com arilo; C=Carnoso; Cam=Campus Universitário; Par=Parque Urbano; Jar=Jardim; CE=Cerrado; AT=Mata Atlântica; PP=Pampas. NI=Não informado

Espécie vegetal (Família)	Origem	Tipo de fruto consumido	Número de indivíduos	Esforço amostral (horas)	Área de estudo	Localidade	Bioma	Riqueza de aves frugívoras	Fonte de dados
<i>Michelia champaca</i> (Magnoliaceae)	E	S/A	2	35	Cam	São Carlos, SP	CE	26	Lombardi e Motta-Júnior 1993; Oliveira et al 2013
<i>Ficus microcarpa</i> (Moraceae)	E	C	3	17	Cam	Pirassununga, SP	AT/CE	23	Marcondes-Machado et al 1994
<i>Alchcornea glandulosa</i> (Euphorbiaceae)	N	S/A	1	12	Cam	Blumenau, SC	AT	17	Zimmermann 1996
<i>Alchcornea triplinervia</i> (Euphorbiaceae)	N	S/A	NI	NI	Par	Maringá, PR	AT	20	Krugel e Behr 1999
<i>Rapanea lancifolia</i> (Myrsinaceae)	N	C	3	60	Cam	São Carlos, SP	CE	9	Francisco e Galetti 2001
<i>Davilla rugosa</i> (Dilleniaceae)	N	S/A	3	60	Cam	São Carlos, SP	CE	12	Francisco e Galetti 2002
<i>Ocotea pulchella</i> (Lauraceae)	N	C	4	72	Cam	São Carlos, SP	CE	12	Francisco e Galetti 2002
<i>Tapirira guianensis</i> (Anacardiaceae)	N	C	1	56	Par	Araruama, RJ	AT	14	Guimarães 2003
<i>Solanum granulosoleprosum</i> (Solanaceae)	N	C	5	14	Cam	Curitiba, PR	AT	2	Cáceres e Moura 2003
<i>Ligustrum lucidum</i> (Oleaceae)	E	C	11	35	Jar	Venâncio Aires, RS	AT/PP	10	Scheibler e Melo-Júnior 2003
<i>Ligustrum japonicum</i> (Oleaceae)	E	C	4	20	Jar	Belo Horizonte, MG	CE	6	Scheibler e Melo-Júnior 2003
<i>Phoradendron rubrum</i> (Viscaceae)	N	C	10	90	Par	Rio Claro, SP	AT	5	Cazetta e Galetti 2007
<i>Dypsis lutescens</i> (Arecaceae)	E	C	27	72	Jar	Juiz de Fora, MG	AT	3	Ribeiro e Gogliath-Silva 2005
<i>Muntingia calabura</i> (Muntingiaceae)	E	C	3	24	Cam	São Carlos, SP	CE	14	Figueiredo et al. 2008
<i>Miconia albicans</i>	N	C	8	96	Cam	São Carlos, SP	CE	17	Allenspach e Dias 2012

Houve predomínio de espécies onívoras (n=38; 54,3%) e insetívoras (n=18; 25,7%), e somente 9 espécies (12,9%) com dieta essencialmente frugívora foram registradas consumindo frutos em ambiente urbano no Brasil (Tabela 2). A maioria das espécies registradas apresenta sensibilidade a distúrbios baixa (n=48; 68,5%) ou média (n=20; 28,5 %).

Tabela 2. Espécies de aves registradas consumindo frutos em ambiente urbano no Brasil nos trabalhos considerados neste estudo. Mc=*Michelia champaca*, Fm=*Ficus microcarpa*, Ag=*Alchornea glandulosa*, At=*Alchornea triplinervia*, Rl=*Rapanea lancifolia*, Dr=*Davilla rugosa*, Op=*Ocotea pulchella*, Tg=*Tapirira guianensis*, Sg=*Solanum granulosoleprosum*, Ll=*Ligustrum lucidum*, Lj=*Ligustrum japonicum*, Pr=*Phoradendron rubrum*, Dl=*Dypsis lutescens*, Mb=*Muntingia calabura*, Ma=*Miconia albicans*, Mf=*Miconia fallax*, Mr=*Miconia rubiginosa*, Ms=*Miconia chamaissoides*. Fru=Frugívoro; Gra=Granívoro; Oni=Onívoro; Nec=Nectarívoro. S.D=Sensibilidade a perturbação - A=Alta, M=Média, B=Baixa. * Espécies vegetais exóticas

Ordem/Família/Espécie	Espécies vegetais consumidas	Dieta	S.D
Ordem Columbiformes			
Família Columbidae			
<i>Columbina talpacoti</i>	Fm*	Gra	B
<i>Patagioenas picazuro</i>	Mc*, Fm*, Ma	Fru	M
Ordem Psittaciformes			
Família Psittacidae			
<i>Aratinga aurea</i>	Ma	Fru	M
<i>Forpus xanthopterygius</i>	Fm*	Fru	M
<i>Brotogeris tirica</i>	Mb*	Fru	B
<i>Brotogeris chiriri</i>	Mc*, Fm*	Fru	M
Ordem Cuculiformes			
Família Cuculidae			
<i>Crotophaga ani</i>	Fm*, Ms	Ins	B
Ordem Piciformes			
Família Picidae			
<i>Melanerpes candidus</i>	Fm*	Ins	B
<i>Veniliornis passerinus</i>	Mc*	Ins	B
<i>Colaptes melanochloros</i>	Mc*, Fm*, Rl	Ins	B
Ordem Passeriformes			
Família Thamnophilidae			
<i>Drymophila ferruginea</i>	Mb*	Ins	M
Família Pipridae			
<i>Antilophia galeata</i>	Rl, Dr	Fru	M
Família Tityridae			
<i>Schiffornis virescens</i>	Ll*	Oni	M
Família Tyrannidae			

<i>Elaenia flavogaster</i>	Mc*, Fm*, Tg, Ll*	Fru	B
<i>Elaenia mesoleuca</i>	Mc*	Fru	B
<i>Elaenia obscura</i>	Ll*	Fru	M
<i>Myiopagis caniceps</i>	At	Ins	M
<i>Myiarchus swainsoni</i>	At, Dr	Ins	B
<i>Myiarchus ferox</i>	Lj*	Ins	B
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	Op	Ins	B
<i>Pitangus sulphuratus</i>	Mc*, Fm*, Ag, At, Op, Tg, Ll*, Lj*, Dl*, Mb*, Ma	Oni	B
<i>Machetornis rixosa</i>	Mc*	Ins	B
<i>Myiodinastes maculatus</i>	Fm*, Ag, At, Dr, Op, Ma	Oni	B
<i>Megarynchus pitangua</i>	Mc*, At, Rl, Tg	Oni	B
<i>Myiozetetes similis</i>	Mc*, Op	Oni	B
<i>Tyrannus albogularis</i>	Mc*, Ma	Ins	B
<i>Tyrannus melancholicus</i>	Mc*, Fm*, Ag, At, Rl, Dr, Op, Tg, Ma	Ins	B
<i>Tyrannus savana</i>	Mc*, Fm*, At, Op, Ma	Ins	B
<i>Empidonax varius</i>	Mc*, Ag, At, Dr, Op	Ins	B
<i>Fluvicola nengeta</i>	Mb*	Ins	B
<i>Muscipipra vetula</i>	Mb*	Ins	M
Família Vireonidae			
<i>Vireo olivaceus</i>	Mc*, Ag, At, Rl, Dr	Oni	B
Família Corvidae			
<i>Cyanocorax cristatellus</i>	Fm*, Ma	Oni	M
<i>Cyanocorax chrysops</i>	Mc*	Oni	B
Família Donacobiidae			
<i>Donacobius atricapilla</i>	Mb*	Ins	M
Família Turdidae			
<i>Turdus flavipes</i>	Ag	Oni	M
<i>Turdus rufiventris</i>	Mc*, Ag, At, Op, Ll*, Lj*	Oni	B
<i>Turdus leucomelas</i>	Mc*, Fm*, At, Rl, Dr, Op, Lj*, Mb*, Ma	Oni	B
<i>Turdus amaurochalinus</i>	Mc*, Fm*, At, Op, Tg, Ll*, Mb*	Oni	B
<i>Turdus subalaris</i>	Ag, Dr	Oni	B
<i>Turdus albicollis</i>	Ag, At, Ll*	Oni	M
Família Mimidae			
<i>Mimus saturninus</i>	Mc*, Fm*, Op, Ll*, Lj*, Pr, Ma	Oni	B
Família Coerebidae			
<i>Coereba flaveolum</i>	Tg, Dl*	Nec	M
Família Thraupidae			
<i>Saltator similis</i>	Mc*, At, Sg, Ll*	Oni	B
<i>Saltatricula atricollis</i>	Ma	Oni	M

<i>Nemosia pileata</i>	Fm*, Rl	Oni	B
<i>Tachyphonus coronatus</i>	Ag, At	Oni	B
<i>Lanio versicolor</i>	Mb*	Oni	A
<i>Tangara cyanocephala</i>	Ag	Oni	M
<i>Tangara sayaca</i>	Mc*, Fm*, Ag, At, Rl, Dr, Tg, Sg, Ll*, Lj*, Pr, Dl*, Mb*, Ma	Oni	B
<i>Tangara palmarum</i>	Mc*, Fm*, Ag, Tg	Oni	B
<i>Tangara cayana</i>	Mc*, Fm*, Rl, Dr, Tg, Pr, Mb*, Ma	Oni	M
<i>Neothraupis fasciata</i>	Mb*	Oni	M
<i>Schistochlamys ruficapillus</i>	Dr, Op, Ma	Oni	B
<i>Pipraeidea melanonota</i>	Ag	Oni	B
<i>Tersina viridis</i>	Mc*, Ag	Oni	B
<i>Dacnis cayana</i>	Mc*, Ag, At, Dr, Tg	Oni	B
<i>Hemithraupis guira</i>	At	Oni	B
<i>Hemithraupis ruficapilla</i>	Ag	Oni	B
<i>Conirostrum speciosum</i>	At, Tg	Oni	B
Família Emberizidae			
<i>Zonotrichia capensis</i>	Fm*, Ma	Gra	B
<i>Poospiza cinerea</i>	Mb*	Oni	A
<i>Sporophila caerulescens</i>	Ma	Gra	B
<i>Volatinia jacarina</i>	Ma	Gra	B
Família Parulidae			
<i>Parula pitiayumi</i>	Tg	Ins	M
Família Icteridae			
<i>Cacicus haemorrhouus</i>	At	Oni	B
Família Fringillidae			
<i>Euphonia chlorotica</i>	Fm*, Tg, Pr	Oni	B
<i>Euphonia violacea</i>	Tg	Oni	B
<i>Euphonia cyanocephala</i>	Pr	Oni	B
Família Passeridae			
<i>Passer domesticus</i>	Fm*	Oni	B

A análise de agrupamento revelou maior similaridade entre as assembleias de aves consumidoras de *Davilla rugosa* e *Rapanea lancifolia* ($C_S=0,57$) com *Ocotea pulchella* e *Solanum granuloleprosum* apresentando a similaridade mais baixa ($C_S=0,0$). Os frutos de plantas de mesmo gênero como *Ligustrum* spp. e *Alchornea* spp. foram consumidos por avifaunas similares, situando-se no mesmo grupo. As avifaunas consumidoras de frutos exóticos e nativos não formaram grupos distintos (Figura 1).

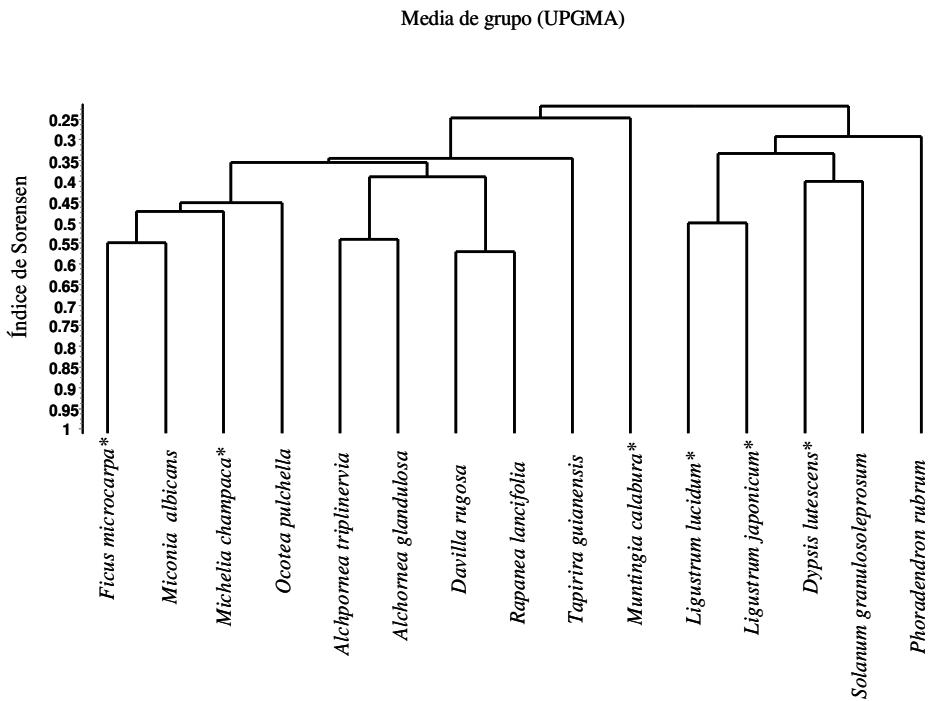


Figura 1. Dendrograma de similaridade de Sorensen da avifauna consumidora de frutos de diferentes espécies vegetais em ambiente urbano no Brasil. *Espécies vegetais exóticas

O número de espécies de aves registradas não teve relação com o número de horas de observação ($R^2=0,02$; $F=0,64$; $p=0,56$) nem com o número de indivíduos da planta observados ($R^2=0,11$; $F=3,03$; $p=0,09$).

A rede de interações de frugivoria por aves em ambiente urbano no Brasil apresentou padrão significativamente aninhado ($NODF=0,30$; $p < 0,01$) com duas plantas exóticas (*F. microcarpa* GC= 1,8 e *M. champaca* GC=1,5) e uma nativa (*A. triplinervia* GC= 1,0) fazendo parte do núcleo de generalistas da rede, isto é, a região com maior densidade de interações (Figura 2). A modularidade da rede não foi significativa ($M= 0,36$; $p= 0,16$).

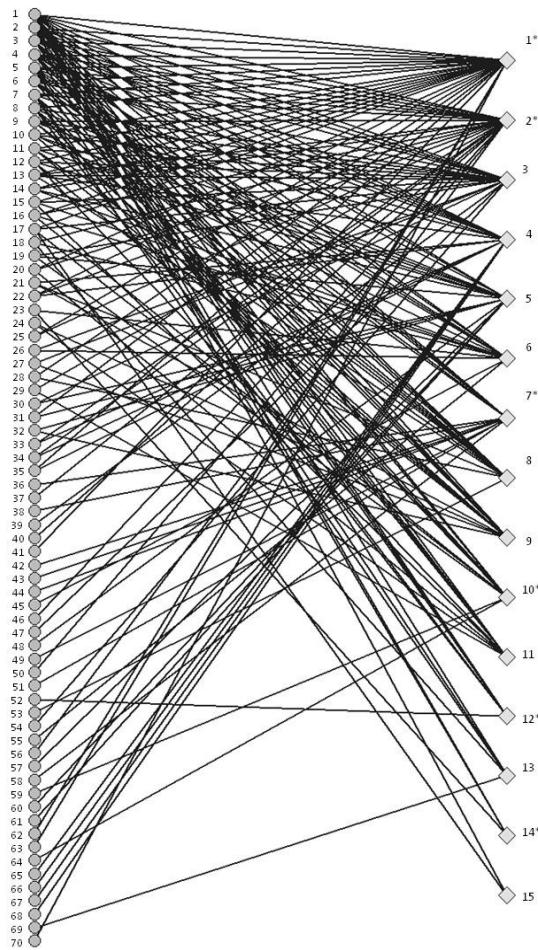


Figura 2. Grafo bipartido representando o consumo de frutos por aves em ambiente urbano no Brasil. Círculos = aves; losangos = plantas. *Espécies vegetais exóticas PLANTAS: 1. *Michelia champaca* 2. *Ficus microcarpa* 3. *Alchpornea triplinervia* 4. *Miconia albicans* 5. *Alchornea glandulosa* 6. *Tapirira guianensis* 7. *Muntingia calabura* 8. *Ocotea pulchella* 9. *Davilla rugosa* 10. *Ligustrum lucidum* 11. *Rapanea lancifolia* 12. *Ligustrum japonicum* 13. *Phoradendron rubrum* 14. *Dypsis lutescens* 15. *Solanum granulosoleprosum*. AVES: 1. *Tangara sayaca* 2. *Pitangus sulphuratus* 3. *Turdus leucomelas* 4. *Tyrannus melancholicus* 5. *Tangara cayana* 6. *Turdus amaurochalinus* 7. *Mimus saturninus* 8. *Turdus rufiventris* 9. *Myiodinastes maculatus* 10. *Dacnis cayana* 11. *Empidonax varius* 12. *Vireo olivaceus* 13. *Tyrannus savana* 14. *Tangara palmarum* 15. *Megarynchus pitangua* 16. *Elaenia flavogaster* 17. *Saltator similis* 18. *Euphonia chlorotica* 19. *Turdus albicollis* 20. *Colaptes melanochloros* 21. *Schistochlamys ruficapillus* 22. *Patagioenas picazuro* 23. *Coereba flaveolum* 24. *Antilophia galeata* 25. *Brotogeris versicolurus* 26. *Conirostrum speciosum* 27. *Myiarchus swainsoni* 28. *Myiozetetes similis* 29. *Nemosia pileata* 30. *Tachyphonus coronatus* 31. *Tersina viridis* 32. *Turdus subalaris* 33. *Zonotrichia capensis* 34. *Cyanocorax cristatellus* 35. *Tyrannus albogularis* 36. *Neothraupis fasciata* 37. *Crotophaga ani* 38. *Brotogeris tirica* 39. *Cacicus haemorrhouus* 40. *Columbina talpacoti* 41. *Cyanocorax chrysops* 42. *Donacobius atricapilla* 43. *Drymophila ferruginea* 44. *Fluvicola nengeta* 45. *Euphonia violacea* 46. *Forpus xanthopterygius* 47. *Hemithraupis guira* 48. *Hemithraupis ruficapilla* 49. *Lanio versicolor* 50. *Melanerpes candidus* 51. *Muscipipra vetula* 52. *Myiarchus ferox* 53. *Myiarchus tyrannulus* 54. *Myiopagis caniceps* 55. *Parula pitiaayumi* 56. *Passer domesticus* 57. *Pipraeidea melanonota* 58. *Poospiza cinerea* 59. *Schiffornis virescens* 60. *Tangara cyanocephala* 61. *Turdus flavipes* 62. *Machetornis rixosa* 63. *Elaenia mesoleuca* 64. *Elaenia obscura* 65. *Aratinga aurea* 66. *Sporophila caerulescens* 67. *Volatinia jacarina* 68. *Saltatricula atricollis* 69. *Euphonia cyanocephala* 70. *Veniliornis passerinus*

DISCUSSÃO

A riqueza de espécies de aves frugívoras nas áreas urbanas avaliadas representa aproximadamente 13% do total de espécies registrado neste tipo de ambiente, que ultrapassa 550 espécies (Franchin 2009). O elevado número de tiranídeos e traupídeos parece acompanhar a riqueza relativamente alta destas famílias em cidades brasileiras, onde são as mais representativas, somando quase um quinto do total de espécies registradas (Franchin 2009). Convém notar que Tyrannidae é composta principalmente por insetívoros, mas um número considerável de espécies pode incluir frutos em sua dieta (Ridgely & Tudor 1994; Sick 1997). Já Thraupidae inclui espécies tipicamente frugívoras e algumas onívoras (Wilis 1979; Sick 1997).

O predomínio de onívoros é frequentemente observado em ambiente antrópico e pode estar relacionado ao fato de estas espécies poderem explorar uma maior variedade de recursos (Villanueva & Silva 1996; Franchin 2009). Aves frugívoras de médio e grande porte estão entre as primeiras a desaparecer em ambientes alterados (Willlis 1979), possivelmente por não encontrar áreas suficientemente extensas para satisfazer suas demandas e manter populações viáveis (Pizo 2001). O consumo de frutos por aves insetívoras é frequentemente registrado (Pizo 2004; Tubelis 2007) e esta guilda representou aproximadamente um terço das espécies observadas nesta interação em área urbana. Frutos, ainda que exóticos, podem ser importantes em períodos de baixa abundância de invertebrados e representam uma fonte alternativa de recursos (Corlett 2005). Tendo em vista que tanto os frutos nativos quanto os exóticos foram consumidos por aves onívoras, insetívoras e frugívoras, é possível que em ambientes urbanos e altamente perturbados, muitas espécies atuem de maneira oportunista, aproveitando os recursos disponíveis à medida em que estes aparecem.

Apesar da alta variação no esforço amostral empenhado e no número de indivíduos vegetais observados nos estudos analisados, a riqueza da avifauna consumidora não apresentou relação significativa com estas variáveis. Em geral várias horas de observação distribuídas ao longo de dias são necessárias para se ter uma lista confiável dos visitantes de plantas frutíferas (Galetti *et al.* 2006) e era de se esperar que estudos com esforço amostral mais longo registrassem mais espécies. Entretanto, mesmo em trabalhos com elevado esforço amostral, é comum que a maior parte das espécies seja registrada nas primeiras horas (Francisco & Galetti 2002), o que talvez explique a ausência de relação entre riqueza e amostragem no presente estudo.

O resultado da análise de agrupamento revelou que a composição é mais similar entre as assembleias de consumidores de espécies de mesmo gênero, como pode ser observado em *Alchornea* spp. e *Ligustrum* spp. As duas espécies de *Ligustrum* foram avaliadas em um único estudo, mas estavam em estados e mesmo em biomas diferentes com *L. lucidum* em transição Mata Atlântica/ Pampas e *L. japonicum* em transição Cerrado/Mata Atlântica (Scheibler & Melo-Júnior 2003). Já *Alchornea glandulosa* e *A. triplinervia* foram observadas em dois estudos em áreas distintas (Zimmermann 1996; Krügel & Behr 1999) e também apresentaram alta similaridade, situando-se no mesmo grupo. Plantas da mesma família apresentam, em geral, frutos com características semelhantes (Barroso *et al.* 1999) e fatores como tamanho, cor e forma podem influenciar a comunidade de consumidores de determinada espécie vegetal (Pijl 1982; Moermond & Denslow 1985). Como plantas nativas e exóticas não formaram grupos distintos, no que se refere a composição de suas avifaunas consumidoras, é possível que estas características morfológicas dos frutos determinem quem serão os seus consumidores, independentemente da origem da planta. Além disso, a grande proporção de aves onívoras em ambiente antrópico pode fazer com que muitas espécies se alimentem tanto de frutos nativos quanto de exóticos, levando à formação de grupos contendo consumidores destas duas categorias de plantas.

Jordano (1987) propôs que espécies próximas filogeneticamente formam subgrupos dentro das redes de interações. Isto foi verificado para redes mistas de dispersão envolvendo aves e morcegos, onde se verificou alta modularidade, com os dois grupos de animais ocupando módulos distintos e muitas plantas interagindo somente com um deles (Mello *et al.* 2011). Considerando que a rede construída no presente estudo inclui membros de seis ordens de aves e de 13 famílias vegetais, poderia se esperar a formação de módulos separando espécies mais próximas filogeneticamente tanto para animais quanto para plantas, talvez com exóticas e nativas ocupando módulos diferentes, o que não ocorreu. Entre as espécies vegetais incluídas aqui não há, de fato, uma separação filogenética entre exóticas e nativas, uma vez que alguns grupos taxonômicos superiores incluem representantes destas duas categorias. A exótica *Michelia champaca*, por exemplo, pertence ao clado das magnoliídeas que também inclui a nativa *Ocotea pulchella*, estando as duas próximas das fabídeas que também incluem espécies exóticas e nativas abordadas no presente estudo (APG 2009). A ausência de modularidade significativa na rede também pode ser mais um indicativo de que em ambiente urbano, muitas espécies de aves consomem frutos de maneira oportunista. Já foi proposto que uma interação

de frugivoria pode ocorrer e beneficiar os envolvidos, mesmo que a ave e a planta em questão não estejam historicamente próximos (Howe & Smalwood 1982).

O padrão significativamente aninhado apresentado pela rede de frugivoria por aves em ambiente urbano no Brasil é comum em redes mutualistas e já foi amplamente verificado em redes locais de dispersão e polinização (Bascompte *et al.* 2003). Mello *et al.* (2013) verificaram aninhamento significativo em quatro de seis redes em escala de bioma construídas por meio da compilação de dados sobre interações entre abelhas coletores de óleo e plantas da família Malpighiaceae. Assim, redes em escalas maiores podem apresentar padrões similares a redes locais, pelo menos no que se refere à topologia. Redes aninhadas formam um sistema altamente coeso, onde as plantas e animais mais generalistas interagem entre si, formando um núcleo ao qual as outras espécies estão associadas, o que pode aumentar a resistência a perturbações, diminuindo as chances de uma espécie ficar isolada após a eliminação de outra (Bascompte *et al.* 2003). No presente estudo foi possível identificar claramente um núcleo de generalistas, que são espécies com alto número de interações na rede, que é característico de redes aninhadas. Não parece haver, entretanto, separação entre plantas exóticas e nativas, visto que entre as três espécies que compõem o núcleo há uma nativa (*A. triplinervia*) e duas exóticas (*F. microcarpa* e *M. champaca*). Da mesma forma, a região da rede com menos interações também inclui tanto espécies vegetais nativas (*S. granuloleprosum*) quanto exóticas (*D. lutescens*). Este resultado pode reforçar a ideia da ausência de preferência por frutos nativos ou exóticos por parte das aves, conforme discutido anteriormente. É importante ressaltar porém, que novos estudos são necessários, avaliando especialmente o consumo de frutos de espécies nativas e introduzidas em uma mesma área. Mokotjomela *et al.* (2013) não verificaram diferença na riqueza de consumidores de frutos nativos e introduzidos em ambiente natural na África, embora a frequência de visitação tenha sido maior nas plantas exóticas. Em jardins urbanos da Austrália, aves utilizaram plantas exóticas mais do que nativas (Daniels & Kirkpatrick 2006). Por outro lado Corlett (2006) verificou que figueiras nativas atraíram mais aves e morcegos frugívoros do que as exóticas. É possível que particularidades de cada região, bem como características morfológicas e valor nutricional dos frutos tenham influência na natureza das interações que ocorrerão, o que ressalta a importância de novos trabalhos abordando estes aspectos.

Os resultados aqui apresentados mostram que um grupo relativamente diversificado de aves interage com plantas frutíferas em ambiente urbano e muitas destas interações envolvem o consumo de frutos de espécies introduzidas. A dispersão de sementes de plantas exóticas

por aves vem sendo apontada como um dos fatores responsáveis por eventos de invasão biológica ao redor do mundo (Kawakami *et al.* 2009; Heleno *et al.* 2013). Dessa forma, é importante que estudos futuros avaliem tais interações, verificando se as sementes de espécies vegetais exóticas são efetivamente dispersas e se existe a possibilidade dessas espécies se estabelecerem em ambiente natural, tornando-se invasoras.

Referências²

- Allenspach, N. & Dias, M. M. 2012. Frugivory by birds on *Miconia albicans* (Melastomataceae), in a fragment of cerrado in São Carlos, southeastern Brazil. *Brazilian journal of biology*, 72(2): 407–13.
- Almeida-Neto, M.; Guimarães, P.R.; Guimarães Jr, P.R.; Loyola, R.D. & Ulrich, W. 2008. A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. *Oikos*, 117:1227–1239.
- APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161:105-121.
- Ayres, M.; Ayres-Jr, M.; Ayres, D.L. & Santos, A.S. 2007. BioEstat 5.0: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Belém: Sociedade Civil de Mamirauá.
- Barroso, G.M.; Morim, M.P.; Peixoto, A.L. & Ichaso, C.L.F. 1999. *Frutos e sementes: morfologia aplicada a sistemática de dicotiledôneas*. Viçosa: UFV, 443p.
- Bascompte, J.; Jordano, P.; Melián, C. J. & Olesen, J. M. 2003. The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(16): 9383–9387.
- Bastolla, U.; Fortuna, M. A.; Pascual-García, A.; Ferrera, A.; Luque, B. & Bascompte, J. 2009. The architecture of mutualistic networks minimizes competition and increases biodiversity. *Nature*, 458 (7241): 1018–20.
- Batagelj, V. & Mrvar, A. 1998. Pajek—a program for large network analysis. *Connections*, 21:47–57.
- Blondel, J. 2003. Guilds or functional groups: does it matter? *Oikos*, 100(2):223–231.
- Cáceres, N. C.; & Moura, M. O. 2003. Fruit removal of a wild tomato, *Solanum granuloleprosum* Dunal (Solanaceae), by birds , bats and non-flying mammals in an urban Brazilian environment. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(3), 519–522.
- CBRO 2011. *Lista das aves do Brasil*. 10^a edição. Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. Disponível em: <<http://www.cbro.org.br>>. Acesso em: 15.10.2013.
- Chace, J.F. & Walsh, J. J. 2006. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and urban planning*, 74(1): 46-69.

² Segundo as normas da Revista *Landscape and Urban Planning*

- Corlett, R. T. 2005. Interactions between birds , fruit bats and exotic plants in urban Hong Kong , South China. *Urban Ecosystems*, 8: 275–283.
- Corlett, R. T. 2006. Figs (*Ficus*, Moraceae) in Urban Hong Kong , South China. *Biotropica*, 38: 116–121.
- Daniels, G. D. & Kirkpatrick, J. B. 2006. Does variation in garden characteristics influence the conservation of birds in suburbia? *Biological Conservation*, 133(3): 326–335.
- Dátilo, W., Guimarães, P. R. & Izzo, T. J. 2013. Spatial structure of ant–plant mutualistic networks. *Oikos* 122 (11): 1643-1648.
- Faustino, T. C.; & Machado, C. G. 2006. Frugivoria por aves em uma área de campo rupestre na Chapada. *Ararajuba*, 14(2): 137–143.
- Figueiredo, R.A; Oliveira, A.A.; Zacharias, M.A.; Barbosa, S.M.; Pereira, F.F.; Cazela, G.N.; Viana, J.P. & Camargo, R.A. 2008. Reproductive ecology of the invasive exotic tree *Muntingia calabura* L. (Muntingiaceae) in southeastern Brazil. *Rev. Árvore* 32:993 999.
- Franchin, A. G. 2009. *Avifauna em áreas urbanas brasileiras, com ênfase em cidades do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba*. Tese de Doutorado. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.
- Francisco, R. M. & Galetti, M. 2001. Frugivoria e dispersão de sementes de *Rapanea lancifolia* (Myrsinaceae) por aves numa área de cerrado do Estado de São Paulo, sudeste do Brasil. *Ararajuba*, 9(1): 13–19.
- Francisco, M. R. & Galetti, M. 2002. Consumo dos frutos de *Davilla rugosa* (Dilleniaceae) por aves numa área de cerrado em São Carlos, Estado de São Paulo. *Ararajuba*, 10(2): 193–198.
- Francisco, M. R. & Galetti, M. 2002. Aves como potenciais dispersoras de sementes de *Ocotea pulchella* Mart . (Lauraceae) numa área de vegetação de cerrado do sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Botânica*, 25(1): 11–17.
- Galetti, M.; Pizo, M. A. & Morellato, P. 2006. Fenologia, frugivoria e dispersão de sementes. p. 179–223. In: Cullen Jr, L.; Rudran, R. & Valadares-Padua, C. (org). *Métodos de estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre*. Curitiba: Editora UFPR.
- Guimarães, M. A. 2003. Frugivoria por aves em *Tapirira guianensis* (Anacardiaceae) na zona urbana do município de Araruama , estado do Rio de Janeiro , sudeste. *Atualidades Ornitológicas*, 116: 12-21.

- Guimarães Jr, P. R. e Guimarães, P. 2006. Improving the analyses of nestedness for large sets of matrices. *Environmental Modelling & Software*, 21: 1512–1513.
- Guimarães, P. R.; Rico-Gray, V.; Oliveira, P. S.; Izzo, T. J.; dos Reis, S. F. & Thompson, J. N. 2007. Interaction intimacy affects structure and coevolutionary dynamics in mutualistic networks. *Current biology : CB*, 17(20): 1797–803.
- Guimerá, R. & Amaral, L. A. N. 2005. Functional cartography of complex metabolic networks. *Nature*, 433: 895–900.
- Heleno, R. H.; Ramos, J. A.; & Memmott, J. 2013. Integration of exotic seeds into an Azorean seed dispersal network. *Biological Invasions*, 15(5):1143–1154.
- Hobbs, R. J.; Higgs, E. & Harris, J. A. 2009. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in ecology & evolution*, 24(11): 599–605.
- Howe, H. F. & Smallwood, J. 1982. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 13: 201–228.
- IBGE – Fundação Instituto Brasileiro DE Geografia e Estatística. *Bacias. Mapas temáticos*.
- IBGE, Brasil. 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 24/09/2013.
- Kissling, W. D.; Böhning-Gaese, K. & Jetz, W. 2009. The global distribution of frugivory in birds. *Global Ecology and Biogeography*, 18(2): 150–162.
- Jordano, P. 1987. Patterns of mutualistic interactions in pollination and seed dispersal. *American Naturalist*, 129(5): 657–677.
- Jordano, P.; Bascompte, J. & Olesen, J. M. 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant–animal interactions. *Ecology Letters*, 6: 69–81.
- Kawakami, K.; Mizusawa, L. & Higuchi, H. 2009. Re-established mutualism in a seed-dispersal system consisting of native and introduced birds and plants on the Bonin Islands, Japan. *Ecological Research*, 24(4): 741–748.
- Krügel, M.M. & Behr, E. R. 1999. Consumo de frutos de *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) por aves em fragmentos florestais urbanos de Maringá, Paraná. *Biotemas*, 12(1) 149-155.
- Lombardi, J. A. & Motta-Junior, J. C. 1993. Seeds of the champak, *Michelia champaca* L. (Magnoliaceae) as a food source for Brazilian birds. *Ciência e Cultura*, 45(6): 408-409.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Marcondes-Machado, L. O.; Paranhos, S.A. & Barros, Y. M. 1994. Estratégias alimentares de aves na utilização de frutos de *Ficus microcarpa*. *Iheringia Série Zoologia*, (77): 57-62.

- Marquitti, F. M. D.; Guimarães, P.R.; Pires, M. M. & Bittencourt, L. F. 2013. MODULAR : Software for the Autonomous Computation of Modularity in Large Network Sets. *arXiv:1304.2917* (1): 1–10.
- Marzluff, J. M., & Ewing, K. 2001. Restoration of Fragmented Landscapes for the Conservation of Birds: A General Framework and Specific Recommendations for Urbanizing Landscapes. *Restoration Ecology*, 9(3): 280–292.
- McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127(3): 247–260.
- Melián, C. J. & Bascompte, J. 2002. Complex networks: two ways to be robust? *Ecology Letters* 5: 705–708 .
- Melián, C. J. & Bascompte, J. 2004. Food web cohesion. *Ecology*, 85(2): 352-358.
- Mello, M.A.R.; Marquitti, F.M.D.; Guimaraes Jr., P.R.; Kalko, E.K.V.; Jordano, P. & Aguiar, M.A.M. 2011. The modularity of seed dispersal: differences in structure and robustness between bat- and bird-fruit networks. *Oecologia*, 167: 131–140.
- Mello, M. A. R.; Bezerra, E. L. S. & Machado, I. C. 2013. Functional Roles of Centridini Oil Bees and Malpighiaceae Oil Flowers in Biome-wide Pollination Networks. *Biotropica*, 45(1): 45–53.
- Moermond, T. C. & Denslow, J. S. 1985. Neotropical avian frugivores: patterns of behavior, morphology, and nutrition, with consequences for fruit selection. *Ornithological Monographs*, 36 (8): 65-897.
- Mokotjomela, T. M.; Musil, C. F. & Esler, K. J. 2013. Frugivorous birds visit fruits of emerging alien shrub species more frequently than those of native shrub species in the South African Mediterranean climate region. *South African Journal of Botany*, 86: 73–78.
- Morales, J. M. & Vasquez, D. P. 2008. The effect of space in plant-animal mutualistic networks: insights from a simulation study. *Oikos*, 117: 1362-1370.
- Motta-Junior, J. C. 1990. Estrutura trófica e composição das avifaunas de três habitats terrestres na região central do estado de São Paulo. *Ararajuba*, 1: 65-71.
- Oliveira, D. S. F.; Franchin, A. G. & Marçal Júnior, O. 2013. Disponibilidade de frutos de *Michelia champaca* L . (Magnoliaceae) e seu consumo por aves na área urbana de Uberlândia , MG. *Bioscience Journal*, 29(6): 2053–2065.

- Parker III, T., D.F. Stotz e J.W. Fitzpatrick. 1996. Ecological and Distributional databases. Part 4, p.113-436. Em: D.F.Stotz, J.W. Fitzpatrick, T.Parker III, D.K. Moskovits, *Neotropical birds: Ecology and Conservation*. Chicago: University of Chicago Press.
- Pijl, L van der. 1982. *Principals of dispersal in higher plants*. Berlin: Springer-verlag.
- Pizo, M.A. 1997. Seed dispersal and predation in two populations of *Cabralea canjerana* (Meliaceae) in the Atlantic forest of southeastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 13: 559-578.
- Pizo, M. A. 2001. A conservação das aves frugívoras. In: Albuquerque, J. L. B.; Cândido Jr, J.F.; Straube, F.C. & Roos, A.L. (eds). *Ornitologia e Conservação: da ciência às estratégias*. Tubarão: Editora Unisul.
- Pizo, M. A. Frugivory and habitat use by fruit-eating birds in a fragmented landscape of southeast Brazil. 2004. *Ornitologia Neotropical*, 15:117-126.
- Pizo, M. A. & Galetti, M. 2010. Métodos e perspectivas do estudo da frugivoria e dispersão de sementes por aves, p.493-504. In: Accordi, I.; Straube, F. C. & Von Matter, S. *Ornitologia e Conservação: Ciência Aplicada, Técnicas de Pesquisa e Levantamento*. Rio de Janeiro: Technical Books.
- Reichard, S.; Chalker-Scott, H. L. & Buchanan, S. 2001. Interactions among non-native plants and birds. p. 179–223. In: Marzluff, J. M.; Bowman, R. & Donnelly, R. (eds). *Avian ecology and conservation in an Urbanizing World*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Ribeiro, L. B. & Gogliath-Silva, M. 2005. Comportamento alimentar das aves *Pitangus sulphuratus*, *Coereba flaveola* e *Thraupis sayaca* em palmeiras frutificadas em área urbana. *Revista de Etologia*, 7(1): 39-42.
- Ridgely, R. S. & Tudor, G. 1994. *The Birds of South America, volume 2: the suboscine passerines*. Austin: University of Texas Press.
- Scheibler, D. R. & Melo-júnior, T. A. 2003. Frugivory by birds on two exotic *Ligustrum* species (Oleaceae) in Brazil. *Ararajuba*, 11(1): 89–91.
- Shepherd, G. J. 2006. *FITOPACSHELL 1: Manual do Usuário*. Campinas: Departamento de Botânica.
- Sick, H. 1997. *Ornitologia brasileira*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 912p.
- Tubelis, D. P. 2007. Fruit consumption by *Colaptes campestris* (Aves, Picidae) at Emas National Park, Brazil. *Biotemas*, 20(4): 131-133.
- Villanueva, R. E. V. & Silva, M. 1996. Organização trófica da avifauna do campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC. *Biotemas*, 9(2): 57-69.

- Willis, E. O. 1979. The composition of avian communities in remanescent woodlots in Southern Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 33(1): 1-25.
- Zimmermann, C. E. 1996. Observações preliminares sobre a frugivoria por aves em *Alchornea glandulosa* (enol. & poepp.) (Euphorbiaceae) em vegetação secundária. *Revista Brasileira de Zoologia*, 13(3): 533–538.

CAPÍTULO 2

**Rede de interações de frugivoria por aves na área urbana de
Uberlândia, MG**

INTRODUÇÃO

Uma das consequências da expansão da ocupação humana é o transporte e introdução de espécies em áreas muito além daquelas colonizadas naturalmente, resultando em uma redistribuição das espécies ao redor do mundo (Vitousek *et al.* 1996, Barnosky *et al.* 2012). A substituição de plantas nativas por exóticas é um dos resultados desta redistribuição, sendo particularmente comum em áreas urbanas, onde uma parcela representativa da vegetação é constituída por espécies introduzidas (Corlett 2005). Essa alteração antropogênica do meio exerce efeitos sobre as faunas nativas e as comunidades de aves estão entre os organismos mais afetados pelo processo (Chace & Walsh 2006).

Muitas espécies de plantas introduzidas produzem frutos que podem ser consumidos por aves. Dessa forma, frutos exóticos podem atuar como fontes alternativas de recursos para um número variado de espécies de aves (Lombardi & Motta-Júnior 1993; Cruz *et al.* 2013), o que se constitui em um efeito positivo da introdução. Por outro lado, há potenciais efeitos negativos importantes, como a possibilidade de espécies exóticas serem dispersas até áreas naturais, resultando em eventos de invasão biológica (Kawakami *et al.* 2009; Heleno *et al.* 2013); ou ainda, o fato do plantio de espécies vegetais introduzidas poder levar a mudanças na composição da avifauna nativa, provocando redução na diversidade (Chace & Walsh 2006; Khera *et al.* 2009).

Nos últimos anos, o consumo de frutos exóticos por aves vem sendo objeto de estudos tanto no Brasil (Scheibler & Melo-Júnior 2003; Figueiredo *et al.* 2008; Oliveira *et al.* 2013) como em outros países (Corlett 2005; Cruz *et al.* 2013; Mokotjomela *et al.* 2013). No entanto, comparações entre o consumo de frutos de espécies vegetais nativas e exóticas permanecem escassas e os poucos trabalhos realizados nesse sentido apresentam resultados contrastantes, que variam de acordo com o local de realização (e.g. Corlett 2006 e Daniels & Kirkpatrick 2006). Isto demonstra a necessidade de desenvolvimento de novos estudos, especialmente no Brasil, onde a maioria dos trabalhos avalia apenas a frugivoria por aves em uma única espécie de planta (e.g. Manhães *et al.* 2003, Melo *et al.* 2003).

Uma metodologia que pode ser utilizada na análise de interações animal-planta é a teoria de redes complexas, incorporada ao estudo de mutualismos por Jordano (1987). Na última década, um crescente número de trabalhos vem sendo desenvolvido, utilizando esta abordagem para descrever diversos sistemas naturais (Jordano *et al.* 2003; Melián & Bascompte 2004). Esse método permite, por meio de diferentes métricas, avaliar aspectos

importantes da estrutura das comunidades biológicas estudadas (Guimarães 2006). Redes mutualísticas de polinização ou dispersão de sementes têm apresentado dois padrões característicos: aninhamento e modularidade. Uma rede aninhada apresenta três propriedades estruturais relacionadas: (i) plantas com muitas interações interagem com animais com muitas interações, formando um núcleo de generalistas; (ii) plantas e animais com poucas interações raramente interagem entre si; (iii) espécies com poucas interações geralmente interagem com as espécies com mais interações (Bascompte *et al.* 2003). Uma rede modular apresenta subgrupos de animais e plantas estreitamente conectados (Mello *et al.* 2011), que são chamados de módulos e geralmente incluem espécies próximas filogeneticamente (Jordano 1987). Estes dois padrões não são mutuamente exclusivos, de modo que uma rede mutualística pode ser ao mesmo tempo aninhada e modular (Fortuna *et al.* 2010).

Por meio da análise de redes é possível avaliar a importância de cada espécie para a manutenção da comunidade, de acordo com o número e distribuição de suas interações (Costa *et al.* 2007). Este parâmetro, chamado de centralidade, pode ser medido por diferentes métricas, entre elas a "centralidade por intermédio" (*betweenness centrality*) (Nooy *et al.* 2005). Apesar de todos os avanços recentes no estudo das interações entre plantas e aves consumidoras de frutos, poucos trabalhos têm avaliado o efeito da presença de espécies exóticas em teias de interações e o papel que estas ocupam nas redes (Spotswood *et al.* 2012; Heleno *et al.* 2013). Estudos com esse tipo de abordagem são ainda mais raros em ambiente urbano (Cruz *et al.* 2013).

Em áreas urbanas há um predomínio de aves onívoras (Vilanueva & Silva 1996; Franchin 2009), guilda que mais frequentemente se beneficia da presença de plantas frutíferas não-nativas, ao incorporar novos elementos à sua dieta (LaRue 1994; Reichard *et al.* 2001). Frugívoros especialistas, por sua vez, podem ser prejudicados por espécies exóticas que substituem plantas frutíferas nativas (Williams & Karl 1996) ou auxiliam o crescimento da população de uma ave competidora (Schmidt & Whelan 1999). Assim, é possível que frutos nativos e exóticos sejam consumidos por diferentes assembleias de aves em ambiente urbano.

Entre as várias questões que permanecem sem respostas, figuram as seguintes: Qual o papel das espécies exóticas nas redes de frugivoria? Redes com plantas exóticas e nativas apresentam módulos? As avifaunas consumidoras de frutos de espécies nativas e exóticas são similares? Plantas nativas e exóticas ocupam as mesmas posições nas redes?

As hipóteses testadas foram:

- 1) Espécies vegetais exóticas farão parte do núcleo de plantas generalistas da teia de interações;
- 2) Espécies vegetais nativas e exóticas e seus respectivos consumidores ocuparão módulos distintos na rede;
- 3) A avifauna consumidora de frutos de espécies exóticas constitui um grupo diferente da avifauna consumidora de espécies nativas.
- 4) Espécies vegetais nativas ocuparão posições mais centrais na rede.

Nessa perspectiva, os objetivos do presente estudo foram: avaliar redes de interação planta-ave consumidora de frutos em ambiente urbano, verificando o papel das espécies vegetais nativas e exóticas, comparando as guildas de aves consumidoras destes dois grupos de plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido na área urbana do município de Uberlândia, MG, Brasil ($48^{\circ}17'19''\text{O}$, $18^{\circ}55'23''\text{S}$). O município apresenta cerca de 3.890 km^2 de área rural e 219 km^2 de área urbana. A população estimada é de aproximadamente 600.000 habitantes, sendo 97,3% hab/km² na zona urbana e 2,7% na zona rural (IBGE 2010). A região é caracterizada por uma vegetação sob domínio do Cerrado (*sensu lato*), com refúgios vegetacionais de Mata Atlântica (IBGE 2004, IESB 2007). O clima é do tipo Aw, segundo Köppen, apresentando nítida sazonalidade, com chuvas de outubro a abril e seca de maio a setembro (Rosa *et al.* 1991).

Na área urbana, foram selecionadas áreas verdes onde houvesse plantas frutificando durante o período do estudo. As áreas estudadas incluíram o Parque Municipal do Sabiá, Parque Municipal Vítorio Siquierolli, Parque Linear Rio Uberabinha, Campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia e Praça Montese (Figura 1).

Procedimentos

O estudo foi desenvolvido no período de maio de 2012 a março de 2014. Nas áreas estudadas, foram observados indivíduos de quatro espécies vegetais nativas (*Cecropia pachystachia*, *Matayba guianensis*, *Xylopia aromatica* e *Phoradendron affine*) e quatro exóticas (*Muntingia calabura*, *Roystonea borinquena*, *Michelia champaca*, *Ligustrum lucidum*). Foram consideradas exóticas as espécies que não ocorrem naturalmente na região

de estudo (Ministério do Meio Ambiente 2010). Para cada espécie de planta foram realizadas 40 horas de observação focal (Galetti *et al.* 2006) em sessões de quatro horas (6:00-10:00) e duas horas (16:00-18:00), totalizando 320 horas de esforço amostral. Estas observações foram realizadas em pelo menos dois indivíduos de cada espécie.

A cada visita de uma ave à planta eram feitos os seguintes registros: espécie de ave visitante, nº de frutos consumidos e duração da visita. As espécies de aves foram classificadas de acordo com a sua dieta, seguindo dados da literatura (Willis 1979; Motta-Júnior 1990; Sick 1997). A nomenclatura e a sequência taxonômica adotadas seguiram o Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO 2011).



Figura 1. Localização das áreas verdes onde foram realizadas observações de consumo de frutos por aves no município de Uberlândia, MG. Fonte: Google (2014).

Análise da estrutura da rede

A partir dos dados obtidos foi construída uma rede de interações planta-ave consumidora de frutos no ambiente urbano de Uberlândia e o seu nível de aninhamento foi calculado como uma estimativa da organização da rede planta-ave (Bascompte *et al.* 2003), utilizando-se a métrica NODF (Almeida-Neto *et al.* 2008). A construção da rede se deu por meio de uma matriz com aves nas linhas e plantas nas colunas e as respectivas células preenchidas com o número de visitas registrado para cada par de espécies. A significância de NODF foi estimada por um teste de Monte Carlo com 1000 aleatorizações e usando o modelo nulo C_e , no qual a

probabilidade de interação entre um animal e uma planta é proporcional ao seu total de interações (Mello *et al.* 2011). Estas análises foram conduzidas com o software Aninhado 3.0 (Guimarães & Guimarães 2006). Para representar as interações foi desenhado um grafo bipartido, no qual vértices (barras) representam espécies e arestas (linhas) as interações de consumo de frutos. O grafo foi desenhado com o pacote Bipartite (Dormann *et al.* 2008) no software R (R Development Core Team 2010).

Redes aninhadas apresentam uma região com maior densidade de interações que é chamada de núcleo de generalistas. Para determinar se uma espécie de ave ou planta fazia parte desse núcleo foi utilizado o índice Gc ($Gc = k_i - k_{\text{médio}}/z$) (Dátillo *et al.* 2013) onde Gc é o núcleo de generalistas, k_i é o número de conexões de uma dada planta/ave, $K_{\text{médio}}$ é o número médio de conexões para todas as plantas/aves na rede e z é o desvio padrão referente ao número de conexões de plantas/aves. Espécies com $Gc > 1$ são espécies com maior proporção de interações comparadas com espécies do mesmo nível trófico (aves, por exemplo) e, portanto fazem parte do núcleo de generalistas. Espécies com $Gc < 1$ são espécies com menor proporção de interações dentro de um nível trófico e são portanto consideradas periféricas na rede.

Para verificar se espécies vegetais nativas e exóticas ocupavam módulos diferentes na rede de frugivoria em ambiente urbano em Uberlândia a modularidade foi calculada pelo índice M no programa Netcarto (Guimerà & Amaral 2005). Este índice varia de 0 (não há subgrupos) a 1 (subgrupos totalmente separados) e sua significância foi estimada no programa Modular (Marquitti *et al.* 2013).

A centralidade por intermédio mede a proporção de caminhos mais curtos (geodésicas) que contêm uma determinada espécie em relação a todos os caminhos mais curtos entre pares de espécies na rede. O caminho entre duas espécies na rede é definido como o número de conexões necessárias para ligar uma à outra (Nooy *et al.* 2005). Uma espécie que está presente em uma alta proporção de geodésicas tem uma posição central na rede. As análises de centralidade foram realizadas no programa Pajek 3.13 (Batagelj & Mrvar 1998).

Comparação da avifauna consumidora de frutos nativos e exóticos

A similaridade entre a avifauna consumidora de frutos de espécies exóticas e nativas foi obtida pelo índice de similaridade de Sorensen (C_s), considerando presença e ausência das espécies de aves (Magurran 2004) na assembleia consumidora de cada espécie de planta. Foi realizada uma análise de agrupamentos com base no índice de similaridade, usando o método

UPGMA. As análises de similaridade e agrupamento foram realizadas com o programa FITOPACSHELL (Shepherd 2006). Para comparar espécies vegetais nativas e exóticas quanto ao número de visitas por aves e o número de frutos consumidos foi realizado um teste Mann-Whitney para cada uma destas variáveis utilizando como unidade amostral cada dia de observação em campo. Os testes foram realizados no Software Bioestat 5.0 (Ayres et al. 2007).

RESULTADOS

Foram registradas 540 visitas com consumo de frutos, realizadas por 31 espécies de aves distribuídas em quatro ordens e 12 famílias (Tabela 1). A família mais representativa foi Tyrannidae (n=9 spp.; 29,03%), seguida por Thraupidae (n=7; 22,5%). Do total de visitas, 339 foram feitas a espécies vegetais exóticas e 201 a plantas nativas. Ao todo, foram consumidos 2055 frutos, sendo 1450 nativos e 655 exóticos. O bem-te-vi *Pitangus sulphuratus* consumiu frutos de sete espécies vegetais (quatro exóticas e três nativas) e foi a espécie de ave que interagiu com a maior variedade de plantas, seguido por *Turdus leucomelas* e *Tangara sayaca*, que consumiram frutos de cinco espécies. As espécies vegetais com maior número de interações foram *Xylopia aromatico* (nativa) e *Michelia champaca* (exótica), ambas tendo frutos consumidos por 13 espécies de aves. Houve diferença significativa na comparação do número de visitas a plantas nativas e exóticas ($U=1018,5$; $p<0,05$), mas não na comparação do número de frutos consumidos ($U=1301,50$; $p=0,7$).

Tabela 1. Espécies de aves consumidoras de frutos de quatro plantas nativas e quatro exóticas na área urbana de Uberlândia, MG. Mg =*Matayba guianensis*, Xa=*Xylopia aromatic*a, Cp=*Cecropia pachystachya*, Pa=*Phoradendron affine*, Rb=*Roystonea borinquena*, Mc=*Michelia champaca*, Mb=*Muntingia calabura*, Ll=*Ligustrum lucidum*. V=visitas, F/V=Fruto/visita. FRU=frugívoro; ONI=onívoro; INS=insetívoro; NEC=nectarívoro; GRA=granívoro.

<i>Tyrannus melancholicus</i>	12	$1,25 \pm 0,62$	1	1		24	$1,00 \pm 0,00$			1	2	INS			
<i>Empidonax varius</i>	18	$1,22 \pm 0,55$	2	$2,00 \pm 1,41$				2	$1,50 \pm 0,71$			INS			
Família Vireonidae															
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	1	1,0								1	5	INS			
Família Turdidae															
<i>Turdus rufiventris</i>							8	$2,38 \pm 1,77$				ONI			
<i>Turdus leucomelas</i>	2	$2,50 \pm 0,71$	1	2		13	$1,85 \pm 0,80$	17	$3,12 \pm 1,41$		2	$2,00 \pm 1,41$	ONI		
<i>Turdus amaurochalinus</i>					1	3	1	1	5	$1,40 \pm 0,55$	6	$3,17 \pm 2,99$	ONI		
Família Coerebidae															
<i>Coereba flaveola</i>			2	$14,00 \pm 2,83$						16	$2,13 \pm 1,31$	NEC			
Família Thraupidae															
<i>Saltator maximus</i>			1	2	3	$2,33 \pm 0,58$						ONI			
<i>Nemosia pileata</i>	2	$1,00 \pm 0$	3	$10,00 \pm 5,57$								ONI			
<i>Tangara sayaca</i>			1	5	2	$2,0 \pm 1,41$			2	$1,50 \pm 0,71$	4	$1,50 \pm 0,58$	1	1	ONI
<i>Tangara palmarum</i>							2	$1,00 \pm 0,00$	5	$2,00 \pm 1,22$			3	$5,00 \pm 3,61$	ONI
<i>Tangara cayana</i>					6	$2,5 \pm 0,84$					1	1	ONI		
<i>Tersina viridis</i>					3	$1,67 \pm 1,15$			1	1	3	$1,00 \pm 0,00$	ONI		
<i>Dacnis cayana</i>	2	$1,00 \pm 0$			4	$1,75 \pm 0,5$			9	$1,67 \pm 1,00$	3	$1,33 \pm 0,58$	ONI		
Família Emberizidae															
<i>Sporophila nigricollis</i>					1	1						GRA			
Família Icteridae															
<i>Icterus pyrrhopterus</i>	1	1,0										ONI			
Família Fringillidae															
<i>Euphonia chlorotica</i>					2	$1,5 \pm 0,71$	55	$19,16 \pm 9,88$			12	$2,00 \pm 1,04$	ONI		
Total		$1,38 \pm 0,68$		$5,52 \pm 5,02$		$3,12 \pm 2,27$		$18,84 \pm 10,09$		$1,43 \pm 0,88$		$2,27 \pm 1,60$	$1,60 \pm 1,04$	$3,67 \pm 3,33$	

A rede de interações não foi significativamente aninhada ($NODF=40,11$; $p=0,20$) nem modular ($M=0,34$; $p=0,35$) (Figura 1). A centralidade por intermédio nas plantas variou de 0,003 (*Phoradendron affinne*) a 0,249 (*M. champaca*), de modo que há tanto espécies nativas quanto exóticas nas posições mais centrais da rede (Tabela 2). Somente duas espécies de planta tiveram $GC > 1,0$ e podem ser consideradas integrantes do núcleo de generalistas da rede, *X. aromaticata* (nativa) e *M. champaca* (exótica) (Tabela 2).

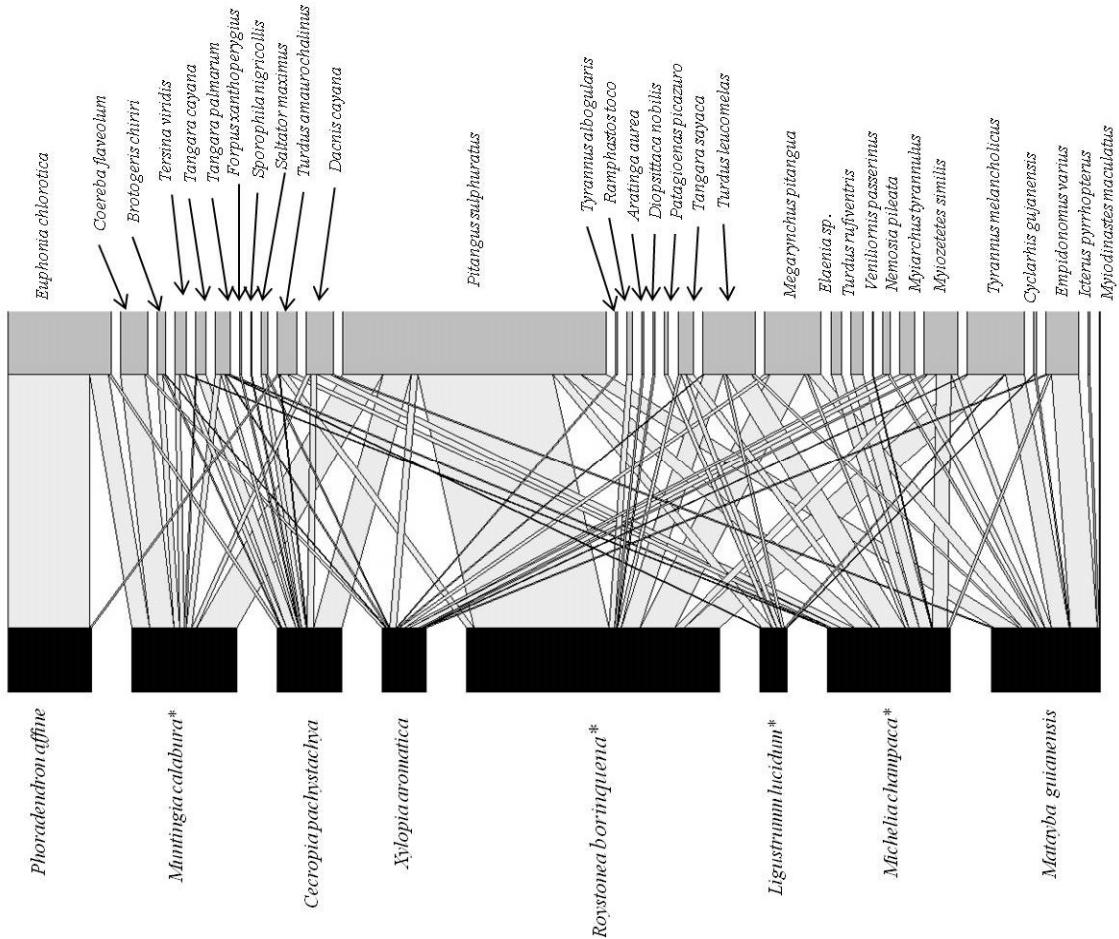


Figura 1. Rede de interações representando o consumo de frutos por aves na área urbana de Uberlândia, MG. Barras cinzas representam aves, barras pretas representam plantas e linhas entre elas representam interação entre duas espécies. A largura de cada barra representa a proporção de todas as interações na rede (visitas) envolvendo a respectiva espécie. * Espécies vegetais exóticas

As assembleias de consumidores de frutos nativos e exóticos não constituíram grupos diferentes (Figura 2) e a maior similaridade encontrada foi entre as avifaunas consumidoras de *Cecropia pachystachya* (nativa) e de *Muntingia calabura* (exótica) ($Cs=0,74$). Entre os consumidores dos frutos destas duas plantas há sete espécies de aves em comum (*P. sulphuratus*, *E. chlorotica*, *D. cayana*, *T. sayaca*, *T. cayana*, *T. viridis* e *B. chiriri*).

Tabela 2. Valores de centralidade por intermédio, grau (número de conexões) e Gc (*generalist core*, espécies com Gc >1 compõem o núcleo de generalistas) de plantas observadas em rede de frugivoria na área urbana de Uberlândia, MG. *Espécies exóticas

Espécie	Grau	GC	Centralidade
<i>Michelia champaca</i> *	13	1,017	0,249
<i>Xylopia aromatica</i>	13	1,017	0,211
<i>Matayba guianensis</i>	12	0,727	0,197
<i>Cecropia pacystachya</i>	11	0,436	0,203
<i>Roystonea borinquena</i> *	10	0,145	0,193
<i>Muntingia calabura</i> *	8	-0,436	0,076
<i>Ligustrum lucidum</i> *	7	-0,727	0,088
<i>Phoradendron affine</i>	2	-2,180	0,003

Das 31 espécies de aves registradas, doze consumiram frutos de apenas uma espécie vegetal, três em *M. champaca* (*Elaenia* sp. *Turdus rufiventris* e *Veniliornis passerinus*) e três em *R. borinquena* (*Aratinga aurea*, *Diopsittaca nobilis* e *Ramphastos toco*), que foram as plantas com maior número de visitantes exclusivos.

Média de grupo (UPGMA)

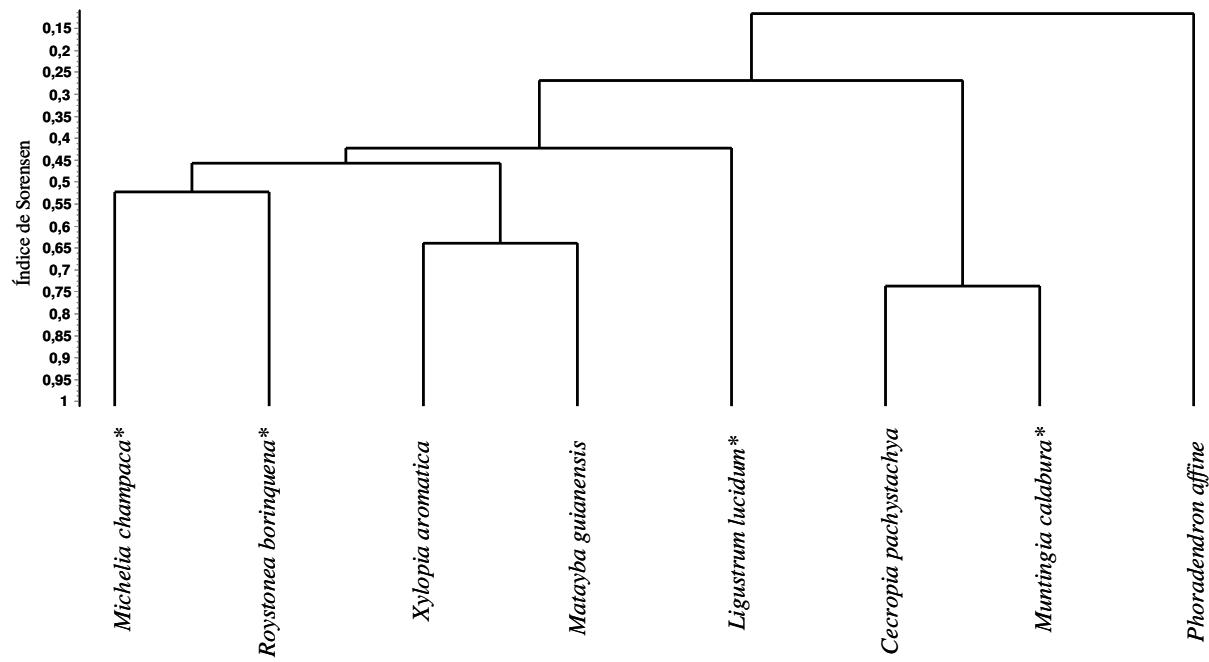


Figura 2. Dendrograma de similaridade de Sorenson da avifauna consumidora de frutos de diferentes espécies vegetais na área urbana de Uberlândia. * Espécies vegetais exóticas

Em relação aos hábitos alimentares a guilda com maior número de espécies registradas foi a de onívoros (n=17; 54,8%), seguida por insetívoros e frugívoros (n=6; 19,4% cada). Somente uma espécie nectarívora e outra granívora foram registradas (Tabela 1).

Em 20 meses ao longo do período do estudo houve frutos maduros em pelo menos uma espécie de planta (Tabela 3).

Tabela 3. Distribuição temporal da disponibilidade de frutos maduros de oito espécies nativas e exóticas em Uberlândia, MG. *Espécies exóticas

The figure is a horizontal timeline chart showing the flowering periods of eight tree species over a two-year period. The x-axis represents months from June 2012 to March 2014. The y-axis lists the species. Black bars indicate the flowering period for each species.

Species	Flowering Period (Approximate Dates)
<i>Cecropia pachystachya</i>	June 2012 - July 2012; June 2013 - November 2013
<i>Xylopia aromatic</i>	July 2013 - August 2013
<i>Matayba guianensis</i>	September 2012 - January 2013; January 2014 - March 2014
<i>Phoradendron affine</i>	January 2013 - April 2013
<i>Muntingia calabura*</i>	January 2013 - April 2013; January 2014 - March 2014
<i>Roystonea borinquena*</i>	July 2012 - August 2012
<i>Michelia champaca*</i>	January 2013 - April 2013; January 2014 - March 2014
<i>Ligustrum lucidum*</i>	July 2012 - August 2012

DISCUSSÃO

Espécies vegetais nativas e exóticas não diferiram, em termos do consumo de frutos por aves urbanas, em praticamente todos os parâmetros analisados, o que pode indicar ausência de predileção por um destes grupos de plantas por parte das aves consumidoras de frutos. Aslán e Rejmanek (2012) realizaram experimentos com aves cativas e uma meta-análise a partir de dados sobre a preferência de frugívoros, concluindo que plantas não-nativas podem ser priorizadas quando se assemelham às nativas em características como a cor e o tipo de fruto. Este tipo de semelhança aparece em algumas das espécies vegetais estudadas em Uberlândia como *M. champaca* e *Matayba guianensis*, exótica e nativa com frutos secos deiscentes do tipo cápsula, respectivamente (Lorenzi *et al.* 2003; Kuhlmann 2012); mas há também plantas com características únicas, como a espécie nativa *Cecropia pachystachya*, com infrutescências grandes e frutículos diminutos (Kuhlmann 2012) sem paralelo entre as espécies exóticas. Dessa forma, entre as espécies incluídas neste estudo é possível encontrar tanto características que levariam à preferência por frutos exóticos quanto características que levam à priorização de frutos nativos, fazendo com que os dois grupos de plantas não diferissem na maioria dos parâmetros analisados.

O único parâmetro a apresentar diferença significativa foi o número de visitas, que foi maior em espécies vegetais exóticas. Um fator que pode ter contribuído para essa diferença é o fato de que todas as espécies exóticas frutificaram em meses da estação seca, o que só ocorreu para duas das plantas nativas. No período de seca ocorre um declínio na disponibilidade de recursos na região do Cerrado (Macedo 2002), fazendo com que as aves recorressem mais frequentemente aos frutos exóticos como fonte de energia. O consumo relativamente maior de frutos por aves em épocas de escassez de recursos foi verificado por Cruz *et al.* (2013) em estudo que avaliou redes de interação em um parque urbano de Portugal. Segundo Corlett (2005) frutos podem ser importantes em momentos de baixa abundância de outras fontes de alimento, como invertebrados por exemplo. A maior parte das espécies de aves registradas aqui não tem frutos como componente principal de suas dietas, portanto o período em que os frutos são disponibilizados pode ter papel importante na determinação de padrões de consumo não só neste estudo, mas em outras áreas urbanas, visto que uma alta proporção de espécies onívoras e também insetívoras já foi registrada anteriormente neste tipo de ambiente (Villanueva & Silva 1996; Franchin 2009).

O resultado das análises de similaridade e agrupamento, que não apontaram separação entre as assembleias de consumidores de frutos nativos e exóticos também pode ter sido influenciado pelo predomínio de aves onívoras, que por apresentarem uma plasticidade maior em suas dietas (Reichard *et al.* 2001) atuaram de maneira oportunista consumindo tanto frutos nativos quanto introduzidos. Assim como no número de visitas, o período de oferta dos frutos pode ter um papel importante na formação de grupos com consumidores das duas categorias de plantas. Considerando que durante a estação seca há uma diminuição na disponibilidade de recursos em áreas abertas da região do Cerrado (Macedo 2002) e que mais espécies exóticas frutificaram durante este período é possível que muitas espécies de aves que consumiram frutos nativos durante a estação chuvosa, tenham recorrido às plantas exóticas na estação seca em função da escassez de outras fontes de alimento. Este tipo de consumo oportunista já foi registrado anteriormente, especialmente em situações onde espécies introduzidas oferecem frutos fora da estação de frutificação das plantas nativas (Gosper 2004; Corlett 2005; Aslán & Rejmanek 2012). Características dos frutos podem influenciar a comunidade de consumidores (Pijl 1982; Moermond & Denslow 1985) e poderia se esperar que plantas com frutos semelhantes atraíssem avifaunas similares, como *Michelia champaca* e *Matayba guianensis* que apresentam frutos secos do tipo cápsula. No entanto, o que se viu foi a formação de alguns grupos com frutos morfológicamente diferentes como *M. champaca* e *Roystonea borinquena* que apresentam cor e forma distintos, mas têm em comum uma alta concentração de lipídios (Nooteboom 1993; Connor & Francis 2002) e *Cecropia pachystachya* e *Muntingia calabura* que têm carboidratos como nutrientes mais abundantes (Galetti *et al.* 1997; Rahman *et al.* 2010). Assim, é possível que os componentes nutricionais dos frutos tenham sido mais importantes na composição das assembleias de consumidores do que características morfológicas ou a origem da planta.

De maneira geral, os parâmetros da rede de interações não revelaram diferenças entre plantas nativas e exóticas. Duas espécies, sendo uma nativa (*X. aromatica*) e uma exótica (*M. champaca*) compõem o núcleo de generalistas. Segundo Bascompte *et al.* (2003), a presença de um núcleo com alta densidade de interações aumenta as chances de um sistema responder de forma positiva a uma perturbação, como por exemplo, a eliminação de uma única espécie. Estudos avaliando redes de polinização têm mostrado que as plantas exóticas podem rapidamente se incorporar ao núcleo de generalistas (Lopezaraiza-Mikel *et al.* 2007; Aizen *et al.* 2008), o que, segundo Guimarães *et al.* (2011), pode levar a alterações significativas nos processos coevolutivos. Em redes de

frugivoria e dispersão de sementes, plantas introduzidas também podem prontamente passar a fazer parte do sistema, muitas vezes atraindo mais espécies de aves do que as plantas nativas (Cruz *et al.* 2013; Heleno *et al.* 2013), fato que pode ter consequências relevantes como a invasão biológica (Gosper *et al.* 2005).

Pela análise de centralidade, constatou-se que há tanto espécies vegetais nativas quanto exóticas nas posições mais centrais da rede. Avaliando redes de frugivoria em ilhas da Polinésia Francesa, Spotswood *et al.* (2012) verificaram que em ambientes com níveis moderados de invasão as espécies mais centrais da rede incluíam plantas introduzidas e também nativas, ao passo que em locais altamente invadidos somente espécies exóticas eram mais centrais. Espécies com alta centralidade são consideradas mais importantes para a manutenção da estrutura da rede (Mello *et al.* 2013) podendo, inclusive atuar como espécies-chave (Martín-Gonzalez *et al.* 2010). O fato de haver plantas nativas entre aquelas com maior valor de centralidade pode ser positivo, pois indica que apesar do alto nível de perturbação encontrado no ambiente urbano e da abundância de espécies introduzidas, os frutos nativos ainda são importantes para a avifauna deste ambiente. Em áreas assim pode ser mais fácil a implementação de planos de manejo que envolvam a substituição de espécies exóticas por nativas, uma vez que há locais onde as exóticas passaram a desempenhar papel importante no ecossistema, inclusive como fonte de alimento (Ewel & Putz 2004. D'Antonio & Meyerson 2007).

A rede de interações não apresentou padrão significativamente modular, isto é, não houve subgrupos compostos, por exemplo, por plantas nativas e exóticas e seus respectivos consumidores. Donatti *et al.* (2011) avaliaram uma rede diversa de dispersão de sementes no Pantanal (incluindo aves, mamíferos e peixes) e encontraram padrão significativamente modular, com dois dos cinco módulos incluindo somente aves e as plantas consumidas por estas. Mello *et al.* (2011) analisaram dados publicados sobre redes de frugivoria em diferentes partes do mundo, e verificaram que a estrutura modular pode ser encontrada tanto em redes envolvendo morcegos quanto aves. Os trabalhos incluídos na meta-análise desses autores foram conduzidos em ambiente natural e uma possível explicação para a ausência deste padrão neste estudo é que ele foi realizado em ambiente urbano, com alto nível de perturbação e predomínio de aves generalistas, o que pode ter levado ao consumo oportunista, impedindo a formação de subgrupos de aves e plantas estreitamente conectados. Além disso, a formação de módulos pode ter relação com características dos frutos (Donatti *et al.* 2011) e como

muitos frutos exóticos e nativos avaliados aqui apresentam similaridades, isto pode ter contribuído para que a maioria das aves visitasse os dois grupos de plantas.

A compreensão do funcionamento de ecossistemas novos como o ambiente urbano é importante e pode auxiliar na escolha de planos de manejo adequados (Cruz *et al.* 2013). Os resultados deste estudo demonstram, por meio da abordagem de redes, que em ambiente urbano os frutos de espécies nativas e introduzidas podem ser consumidos por aves de maneira similar, ocupando posições semelhantes na rede. Novos estudos utilizando esta abordagem em áreas urbanas devem ser encorajados, pois são praticamente inexistentes neste tipo de ambiente e podem trazer informações importantes, complementando os outros métodos de estudos de interações.

REFERÊNCIAS³

- Aizen, M. A.; Morales, C. L.; & Morales, J. M. 2008. Invasive mutualists erode native pollination webs. *PLoS Biology*, 6(2): 396-403.
- Almeida-Neto, M.; Guimarães, P.R.; Guimarães Jr, P.R.; Loyola, R.D. & Ulrich, W. 2008. A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. *Oikos*, 117:1227–1239.
- Aslan, C., & Rejmanek, M. (2012). Native fruit traits may mediate dispersal competition between native and non-native plants. *NeoBiota*, 12: 1-24.
- Ayres, M.; Ayres-Jr, M.; Ayres, D.L. & Santos, A.S. 2007. BioEstat 5.0: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Belém: Sociedade Civil de Mamirauá.
- Barnosky, A. D.; Hadly, E. A.; Bascompte, J.; Berlow, E. L.; Brown, J. H.; Fortelius, M.; Getz, W. M.; Harte, J.; Hastings, A.; Marquet, P.A.; Martinez, N.D.; Mooers, A.; Roopnarine, P.; Vermeij, G.; Williams, J.W.; Gillespie, R.; Kitzes, J.; Marshall, C.; Matzke, N.; Mindell, D.P.; Revilla, E. & Smith, A. B. 2012. Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*, 486(7401): 52–58.
- Bascompte, J.; Jordano, P.; Melián, C. J. & Olesen, J. M. 2003. The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(16): 9383–9387.
- Batagelj, V. & Mrvar, A. 1998. Pajek—a program for large network analysis. *Connections*, 21:47–57.
- CBRO 2011. *Lista das aves do Brasil*. 10^a edição. Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. Disponível em: <<http://www.cbro.org.br>>. Acesso em: 18.04.2014.
- Chace, J. F.; & Walsh, J. J. 2006. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning*, 74(1), 46–69.
- Connor, K.F.; Francis, J.K. *Roystonea* borinquena. In: Nozzo, J.A. (ed) Tropical Seed Manual. Washington: USDA Forest Service. 2002. p. 695-697.
- Corlett, R. T. 2005. Interactions between birds , fruit bats and exotic plants in urban Hong Kong , South China. *Urban Ecosystems*, 8: 275–283.
- Corlett, R. T. 2006. Figs (*Ficus*, Moraceae) in Urban Hong Kong , South China. *Biotropica*, 38: 116–121.

³ Segundo as normas de Revista *Landscape and Urban Planning*

- Costa, L. F.; Rodrigues, F. A.; Travieso, G. & Villas Boas, P. R. (2007). Characterization of Complex Networks : A Survey of measurements. *Advances in Physics*, 56: 167–242.
- Cruz, J. C.; Ramos, J. A.; Silva, L. P.; Tenreiro, P. Q. & Heleno, R. H. 2013. Seed dispersal networks in an urban novel ecosystem. *European Journal of Forest Research*, 132(5-6): 887–897.
- D'Antonio, C. & Meyerson, L. A. 2002. Exotic Plant Species as Problems and Solutions in Ecological Restoration: A Synthesis. *Restoration Ecology*, 10(4), 703–713.
- Daniels, G. D. & Kirkpatrick, J. B. 2006. Does variation in garden characteristics influence the conservation of birds in suburbia? *Biological Conservation*, 133(3): 326–335.
- Dátillo, W., Guimarães, P. R. & Izzo, T. J. 2013. Spatial structure of ant–plant mutualistic networks. *Oikos* 122 (11): 1643-1648.
- Donatti, C. I.; Guimarães, P. R.; Galetti, M.; Pizo, M. A.; Marquitti, F. M. D. & Dirzo, R. 2011. Analysis of a hyper-diverse seed dispersal network: modularity and underlying mechanisms. *Ecology Letters*, 14(8): 773–781.
- Dormann, C.; Gruber, B. & Frund, J. 2008. Introducing the bipartite package: analysing ecological networks. *R News* 8(2):8–11.
- Ewel, J. J. & Putz, F. E. 2004. A place for alien species in ecosystem restoration. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(7): 354–360.
- Fortuna, M. A.; Stouffer, D. B.; Olesen, J. M.; Jordano, P.; Mouillot, D.; Krasnov, B. R.; Proulin, R. & Bascompte, J. 2010. Nestedness versus modularity in ecological networks: two sides of the same coin? *The Journal of Animal Ecology*, 79(4), 811–817.
- Franchin, A. G. 2009. *Avifauna em áreas urbanas brasileiras, com ênfase em cidades do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba*. Tese de Doutorado. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.
- Galetti, M.; Martuscelli, P.; Olmos, F. & Aleixo, A. 1997. Ecology and conservation of the jacutinga *Pipile jacutinga* in the Atlantic forest of Brazil. *Biological Conservation*, 82(1): 31-39.
- Galetti, M.; Pizo, M. A. & Morellato, P. 2006. Fenologia, frugivoria e dispersão de sementes. p. 179–223. In: Cullen Jr, L.; Rudran, R. & Valadares-Padua, C. (org). *Métodos de estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre*. Curitiba: Editora UFPR.

- Google. 2014. *Google Earth*.
- Gosper, C. R.; Stansbury, C. D. & Vivian-Smith, G. 2005. Seed dispersal of fleshy-fruited invasive plants by birds: contributing factors and management options. *Diversity and Distributions*, 11(6): 549–558.
- Gosper, C.R. 2004. Fruit characteristics of invasive bitou bush, *Chrysanthemoides monilifera* (Asteraceae), and a comparison with co-occurring native plant species. *Australian Journal of Botany*, 52: 223–230.
- Guimarães 2006. *Estrutura das redes de interações mutualísticas*. Tese de Doutorado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Guimarães Jr, P. R. e Guimarães, P. 2006. Improving the analyses of nestedness for large sets of matrices. *Environmental Modelling & Software*, 21: 1512–1513.
- Guimarães, P. R.; Jordano, P. & Thompson, J. N. 2011. Evolution and coevolution in mutualistic networks. *Ecology Letters*, 14(9): 877–885.
- Guimerá, R. & Amaral, L. A. N. 2005. Functional cartography of complex metabolic networks. *Nature*, 433: 895–900.
- Heleno, R. H.; Ramos, J. A. & Memmott, J. 2013. Integration of exotic seeds into an Azorean seed dispersal network. *Biological Invasions*, 15(5):1143–1154.
- IBGE – Fundação Instituto Brasileiro DE Geografia e Estatística. *Biomias. Mapas temáticos*. IBGE, Brasil. 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 24/09/2013.
- IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 2010*. IBGE, Brasil. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 09/01/2014.
- IESB (Instituto de Estudos Socioambientais do Sul da Bahia). *Levantamento da cobertura vegetal nativa do Bioma Mata Atlântica. – Relatório Final*. PROBIO/IESB: Publicação online. 2007. Disponível em: http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/mata_atlantica/documentos/relatorio_final.pdf. Acesso em: 20.01.14.
- Jordano, P. 1987. Patterns of mutualistic interactions in pollination and seed dispersal. *American Naturalist*, 129(5): 657–677.
- Jordano, P.; Bascompte, J. & Olesen, J. M. 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant–animal interactions. *Ecology Letters*, 6: 69–81.
- Kawakami, K.; Mizusawa, L. & Higuchi, H. 2009. Re-established mutualism in a seed-dispersal system consisting of native and introduced birds and plants on the Bonin Islands, Japan. *Ecological Research*, 24(4): 741–748.

- Khera, N.; Mehta, V. & Sabata, B. C. 2009. Interrelationship of birds and habitat features in urban greenspaces in Delhi , India. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(3): 1–10.
- Kuhlmann, M. 2012. *Frutos e sementes do Cerrado atrativos para a fauna*. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado. 360p.
- LaRue, C. T. 1994. Birds of Northern Black Mesa, Navajo County, Arizona. *Great Basin Naturalist*, 54(1):1-63.
- Lombardi, J. A. & Motta-Junior, J. C. 1993. Seeds of the champak, *Michelia champaca* L. (Magnoliaceae) as a food source for Brazilian birds. *Ciência e Cultura*, 45(6): 408-409.
- Lopezaraiza-Mikel, M. E.; Hayes, R. B.; Whalley, M. R. & Memmott, J. 2007. The impact of an alien plant on a native plant-pollinator network: an experimental approach. *Ecology Letters*, 10(7): 539–50.
- Lorenzi, H., Souza, H. M.; Torres, M. A. V. & Bacher, L. B. 2003. *Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas*. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 384 p.
- Macedo, R. H. F. *The avifauna: ecology, biogeography, and behavior*. In: Oliveira P.S ; Marquis, R. J. (eds.). The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. Nova York: Columbia University Press , 2002. p. 242-265.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Manhães, M. A., Assis, L. D. S., & Castro, R. D. 2003. Frugivoria e dispersão de sementes de *Miconia urophylla* (Melastomataceae) por aves em um fragmento de Mata Atlântica secundária em Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. *Ararajuba*, 11(2): 173-180.
- Marquitti, F. M. D.; Guimarães, P.R.; Pires, M. M. & Bittencourt, L. F. 2013. MODULAR : Software for the Autonomous Computation of Modularity in Large Network Sets. *arXiv:1304.2917* (1): 1–10.
- Martín González, A. M.; Dalgaard, B. & Olesen, J. M. 2010. Centrality measures and the importance of generalist species in pollination networks. *Ecological Complexity*, 7(1): 36–43.
- Melián, C. J. & Bascompte, J. 2004. Food web cohesion. *Ecology*, 85(2): 352-358.
- Mello, M. A. R.; Bezerra, E. L. S. & Machado, I. C. 2013. Functional Roles of Centridini Oil Bees and Malpighiaceae Oil Flowers in Biome-wide Pollination Networks. *Biotropica*, 45(1): 45–53.

- Mello, M. A. R.; Marquitti, F. M. D.; Guimarães, P. R.; Kalko, E. K. V.; Jordano, P. & Aguiar, M. A. M. 2011. The modularity of seed dispersal: differences in structure and robustness between bat- and bird-fruit networks. *Oecologia*, 167(1): 131–140.
- Melo, C. D., Bento, E. C., & Oliveira, P. E. 2003. Frugivory and dispersal of Faramea cyannea (Rubiaceae) in cerrado woody plant formations. *Brazilian Journal of Biology*, 63(1): 75-82.
- Ministério do Meio Ambiente 2010. *Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/>>. Acesso em: 05/06/12.
- Moermond, T. C. & Denslow, J. S. 1985. Neotropical avian frugivores: patterns of behavior, morphology, and nutrition, with consequences for fruit selection. *Ornithological Monographs*, 36 (8): 65-897.
- Mokotjomela, T. M.; Musil, C. F. & Esler, K. J. 2013. Frugivorous birds visit fruits of emerging alien shrub species more frequently than those of native shrub species in the South African Mediterranean climate region. *South African Journal of Botany*, 86: 73–78.
- Motta-Junior, J. C. 1990. Estrutura trófica e composição das avifaunas de três habitats terrestres na região central do estado de São Paulo. *Ararajuba*, 1: 65-71.
- Nooteboom, H. P. *Magnoliaceae*. In: Kubitzki, K.; Rohwer, J.G Bittrich, V. (eds.) The Families and Genera of Vascular Plants, v. 2. Flowering Plants: Dicotyledons, Magnoliid, Hamamelid and Caryophyllid Families. Berlin: Springer-Verlag. 1993. p. 301-401.
- Nooy, W.; Mrvar, A.; Batagelj, V. 2005. Exploratory social network analysis with Pajek. New York: Cambridge University Press. 334 p.
- Oliveira, D. S. F.; Franchin, A. G. & Marçal Júnior, O. 2013. Disponibilidade de frutos de *Michelia champaca* L . (Magnoliaceae) e seu consumo por aves na área urbana de Uberlândia , MG. *Bioscience Journal*, 29(6): 2053–2065.
- Pijl, L. van der. 1982. *Principals of dispersal in higher plants*. Berlin: Springer-verlag.
- R Development Core Team (2010) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rahman, M.; Fakir, S. A. & Rahman, M. 2010. Fruit growth of China Cherry (*Muntingia calabura*). *Botany Research International*, 3(2), 56–60.
- Reichard, S.; Chalker-Scott, H. L. & Buchanan, S. 2001. Interactions among non-native plants and birds. p. 179–223.In: Marzluff, J. M.; Bowman, R. & Donnelly, R. (eds).

- Avian ecology and conservation in an Urbanizing World. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Rosa, R.; Lima, S. C. & Assunção, L. W. 1991. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia (MG). *Sociedade e Natureza*, 3: 91-108.
- Scheibler, D. R. & Melo-júnior, T. A. 2003. Frugivory by birds on two exotic *Ligustrum* species (Oleaceae) in Brazil. *Ararajuba*, 11(1): 89–91.
- Schimidt, K. A. & Whelan, C. J. 1999. Effects of exotic *Lonicera* and *Rhamnus* on songbird nest predation. *Conservation Biology*, 13(6): 1502–1506.
- Shepherd, G. J. 2006. *FITOPACSHELL 1: Manual do Usuário*. Campinas: Departamento de Botânica.
- Sick, H. 1997. *Ornitologia brasileira*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 912p.
- Spotswood, E. N.; Meyer, J.Y. & Bartolome, J. W. 2012. An invasive tree alters the structure of seed dispersal networks between birds and plants in French Polynesia. *Journal of Biogeography*, 39(11), 2007–2020.
- Villanueva, R. E. V. & Silva, M. 1996. Organização trófica da avifauna do campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC. *Biotemas*, 9(2): 57-69.
- Vitousek, P. M.; D'Antonio, C. M.; Loope, L. L.; & Westbrooks, R. 1996. Biological invasions as global environmental change. *American Scientist*, 84(5): 468-478.
- Williams, P. A. & Karl, B. J. 1996. Fleshy fruits of indigenous and adventive plants in the diet of birds in forest remnants , Nelson , New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology*, 20(2):127–145.
- Willis, E. O. 1979. The composition of avian communities in remanescent woodlots in Southern Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 33(1): 1-25.

CONCLUSÕES

- Frutos são consumidos por um grupo consideravelmente diversificado de aves nas áreas urbanas brasileiras. A rede de interações de frugivoria no ambiente urbano, em escala regional, apresenta padrões similares aos das redes locais, com destaque para a estrutura aninhada. A rede regional não é modular e, portanto, plantas nativas e exóticas, bem como seus respectivos consumidores não ocupam módulos distintos;
- O núcleo de generalistas da rede em escala regional é composto tanto por espécies vegetais nativas quanto por exóticas. Além disso, plantas nativas e exóticas não diferem quanto à composição de suas avifaunas consumidoras e à sua posição na rede de interações de frugivoria no ambiente urbano do país.
- Na rede de interações em Uberlândia não há separação entre plantas nativas e exóticas e de seus respectivos consumidores, em módulos distintos. As assembleias consumidoras dos dois grupos de plantas também não formam grupos diferentes; ou seja, as mesmas espécies de aves consomem frutos nativos e exóticos.
- A rede de interações local tem uma espécie vegetal nativa e uma exótica compondo o núcleo de generalistas. Nas posições mais centrais dessa rede, há tanto espécies vegetais nativas quanto exóticas.
- O consumo de frutos por aves nas áreas urbanas do Brasil se dá de maneira oportunista e, devido à elevada proporção de espécies generalistas neste tipo de ambiente, não há, por parte das aves, uma preferência por frutos nativos ou exóticos.